

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vygantas BAGOČIUS

KOMPLEKSINIS STATINIŲ JŪROS APLINKOJE RACIONALUMO PAGRINDIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2014

Disertacija rengta 2010–2014 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

prof. dr. Alfredas LAURINAVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Nariai:

doc. dr. Arūnas ANDZIULIS (Klaipėdos universitetas, informatikos inžinerija – 07T),

dr. Vida MALIENĖ (Liverpulio Džono Moreso universitetas, statybos inžinerija – 02T),

prof. dr. Egidijus Rytas VAIDOGAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),

prof. dr. Juozas VALIVONIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2014 m. gruodžio 19 d. 13 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel. (8 5) 274 4956; faks. (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2014 m. lapkričio 18 d.

Disertaciją galima peržiūrėti interneto svetainėje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2275-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-609-457-736-9

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2014

© Vygantas Bagočius, 2014

vygantas.bagocius@gmail.com

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Vygantas BAGOČIUS

THE COMPLEX RATIONALITY'S
JUSTIFICATION OF STRUCTURES
IN THE SEA ENVIRONMENT

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES
CIVIL ENGINEERING (02T)



Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2014

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2010–2014.

Scientific supervisor

Prof Dr Habil Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The Dissertation Defense Council of Scientific Field of Civil Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof Dr Alfredas LAURINAVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

Members:

Assoc Prof Dr Arūnas ANDZIULIS (Klaipeda University, Informatics Engineering – 07T),

Dr Vida MALIENĖ (Liverpool John Moores University, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Egidijus Rytas VAIDOGAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Juozas VALIVONIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defense Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **1 p. m. on 19 December 2014.**

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax: +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 18 November 2014.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the internet website <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje jūros statiniai tiriami ir vertinami daugiatisiais sprendimų priėmimo metodais.

Pasiūlyti jūros statinių (išorinio giliavandens uosto, dujų terminalo, vėjo jėgainių parko) galimų variantų plėtros analizės ir vertinimo modeliai ir atlikti šių objektų daugiatisiai vertinimai.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros sąrašas, autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas ir priedai.

Įvadiniame skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašomas mokslinis darbo naujumas, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomi autoriaus pranešimai konferencijose ir publikacijos, pateikiama disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje pateikiama literatūros apžvalga nagrinėjama tematika. Pateikiama uostų infrastruktūros apžvalga, Klaipėdos jūrų uosto trumpas palyginimas su konkuruojančiais Baltijos jūros uostais. Nagrinėjamas suskystintų gamtinių dujų (SGD) terminalo poreikis ir statybos galimybės Klaipėdoje. Apžvelgiamos galimybės statyti vėjo jėgainių parką Baltijos jūroje ties Lietuvos krantais. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateikiamos jūros statinių vystymosi ir plėtojimo kryptys, daugiatisio sprendimo priėmimo sąvoka ir daugiatisių vertinimo metodų suskirstymas į grupes, taip pat pateikti daugiatisiai metodai, kuriais vertinami jūros statiniai.

Trečiajame skyriuje pateiktas praktinių uždavinių sprendimas skirtingiems jūros statiniams (giliavandens uosto parinkimas, SGD terminalo vietos parinkimas, vėjo jėgainių modelio parinkimas, statybos eiliškumo nustatymas, vėjo jėgainės pamatų tipo nustatymas).

Disertacijos tema autorius paskelbė šešis mokslinius straipsnius, iš kurių 4 referuojami duomenų bazės Thomson ISI Web of Science cituojamuose žurnaluose ir du straipsniai pristatyti tarptautinėse ir respublikinėse mokslo konferencijose.

Abstract

This research investigates marine structures and assesses them with the help of multi-attribute decision making methods.

The thesis aimed to propose models for analysis and assessment of possible options for marine structure development (deep-water avant-port, LNG terminal and wind farm) as well as perform the multi-attribute assessment of these objects.

The thesis is comprised of introduction, three chapters, general conclusions, references, the list of publications produced by the author on the topic of the dissertation and annexes.

The introductory chapter discusses the researched problem, relevance of the thesis, describes the research object, formulates the aim and objectives, describes scientific novelty of the thesis and defended statements. Closing remarks of the introduction list presentations given by the author at conferences as well as publications, and present the structure of the dissertation.

The first chapter provides the literature review on the researched topic. It presents the review of port infrastructures, short comparison of the Port of Klaipėda with competing ports of the Baltic Sea. In addition, it analyses the need for LNG terminal and its construction options in Klaipėda. Furthermore, it overviews possibilities to build a wind farm in the Baltic Sea off the coast of Lithuania. The chapter closes with formulation of conclusions and revised objectives of the thesis.

The second chapter introduces developmental directions for marine structures, the concept of multi-attribute decision making and grouping of multi-attribute assessment methods as well as provides multi-attribute methods used for the assessment of marine structures.

Chapter three presents solution of practical problems particular to different marine structures (selection of a deep-water port, selection of the site of the LNG terminal and selection of the wind farm model, defining the sequence of construction works and defining the type of foundations for a wind turbine).

Six scientific articles were published on the topic of the dissertation, four of which – in peer-reviewed journals of Thomson ISI Web of Science; in addition, two articles were presented in national and international conferences.

Žymėjimai

Simboliai

x_{ij} – rodiklio vertė;

A_i – alternatyva;

q_j – rodiklio reikšmingumas;

n – rodiklių skaičius;

$\beta_{g,n}$ – alternatyvų perstatymai;

L_i – vėjo jėgainių parkų jūroje alternatyvos;

π_i – alternatyvų deriniai;

$C.I.$ – suderinamumo indeksas (angl. *Consistency index*);

$R.I.$ – atsitiktinumo indeksas (angl. *Random index*);

$C.R.$ – suderinamumo koeficientas (angl. *Consistency ratio*).

Santrumpos

AHP – analitinių hierarchijų procesas (angl. *The Analytic Hierarchy Process*);

ARAS-F – angl. *Fuzzy Additive Ratio Assessment* – neraiškūs adityvinis kriterijų santykių įvertinimo metodas;

BALTMAX – didžiausios talpos laivai, kokie tik gali įplaukti į Baltijos jūrą;

COPRAS – angl. Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment) – daugiatis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas;

ES – Europos sąjunga;

FSRU – angl. Floating Storage and Regasification Unit – plūduriuojanti saugykla su išdujinimo įrenginiu;

Fuzzy MOORA – angl. Fuzzy Multi – Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis – neapibrėžtų aibių daugiatis optimizacijos santykių analizės metodas;

HTS – hidrotechnikos statiniai;

KVJUD – Klaipėdos valstybinio jūrų uosto direkcija;

JICA – angl. Japan International Cooperation Agency – Japonijos tarptautinio bendradarbiavimo agentūra;

MADM – *angl.* Multiple Attribute Decision Making method – daugiatis sprendimo priėmimo metodas;

MCDM – angl. Multiple Criteria Decision Making method – daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas;

MODM – angl. Multi-Objective Decision Making – daugiatis tolydusis sprendimo priėmimas;

MOORA – angl. Multi-Objective Optimization by Ratio analysis – daugiatis optimizavimas, grindžiamas santykinių dydžių analize;

PANAMAX – specializuoti konteinerių gabenimo laivai, kurių talpa yra 4000 TEU;

SAW – angl. Simple Additive Weighting – paprastas adityvus svorių metodas;

SGD – suskystintų dujų terminalas;

TEU – standartinis vienetas, paremtas ISO 20 pėdų (6,10 m) ilgio konteinerių ir naudojamų kaip statistinė eismo srauto ar mato priemonė;

TOPSIS – angl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution – artumo idealiajam taškui metodas;

WASPAS – angl. Weighted Aggregated Sum Product Assessment – svorinės agreguotos sumos metodas;

WWEA – angl. World Wind Energy Association – pasaulinė vėjo energijos asociacija.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas	1
Darbo aktualumas	2
Tyrimų objektas	3
Darbo tikslas	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	4
Darbo mokslinis naujumas	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai	5
Darbo rezultatų aprobavimas	5
Disertacijos struktūra	5
1. STRATEGINIŲ JŪROS STATINIŲ REIKŠMĖ JŪRINEI VALSTYBEI	7
1.1. Jūros statinių ekonominis indėlis į šalies ūkį	8
1.2. Baltijos jūros reikšmė regiono plėtrai	8
1.3. Hidrotechninių statinių klasifikavimas	9
1.4. Jūros uostai	10
1.5. Dirbtinės salos	17
1.6. Suskystintų gamtinių dujų terminalas ir jo svarba	20
1.7. Vėjo jėgainių parkų statyba jūroje	23

1.7.1. Jūros vėjo jėgainių parkai	24
1.7.2. Jūros vėjo jėgainės	26
1.7.3 Jūros vėjo jėgainių pamatai	28
1.7.4. Jūros vėjo jėgainių statybos vietos parinkimas	32
1.8 Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodų taikymas jūros statiniams vertinti...	33
1.9. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas	35
2. KOMPLEKSINIO VERTINIMO METODAI JŪROS STATINIAMS	37
2.1 Jūros statinių vystymo kryptys	38
2.2. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodai ir jų klasifikacija	40
2.3. Rodiklių reikšmingumo nustatymas	43
2.4. Disertacijos uždaviniams spręsti naudojami daugiatislio vertinimo metodai	45
2.4.1. TOPSIS metodas	46
2.4.2. SAW metodas	47
2.4.3. COPRAS metodas	48
2.4.4. WASPAS metodas	49
2.4.5. Perstatymo metodas	51
2.4.6. Neapibrėžtų aibių teorija	52
2.4.7. ARAS-F metodas	53
2.4.8. Fuzzy MOORA metodas	55
2.5. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų, naudojamų uždaviniams spręsti, apibendrinimas	57
2.6. Antrojo skyriaus išvados	57
3. JŪROS STATINIŲ KOMPLEKSINIS VERTINIMAS	59
3.1. Rodiklių reikšmingumų nustatymas AHP metodu	60
3.2. Giliavandens (avant) uosto Klaipėdoje ties Melnrage tipo parinkimas ARAS-F metodu	62
3.3. Suskystintų gamtinių dujų terminalo statybos vietos nustatymas	71
3.4. Geriausio vėjo jėgainės modelio parinkimas statyti Baltijos jūroje ties Lietuvos pakrante	79
3.5. Vėjo jėgainių parkų jūroje statybos eiliškumo nustatymas	85
3.6. Vėjo jėgainių jūroje pamatų parinkimas Fuzzy MOORA metodu	90
3.7. Trečiojo skyriaus išvados	99
BENDROSIOS IŠVADOS	101
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	103
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS ...	119
SUMMARY IN ENGLISH	121
PRIEDAI*	139
A priedas. AHP metodu nustatyti rodiklių reikšmingumai	140

B priedas. Giliavandens (avant) uosto tipo parinkimas ARAS-F metodu	141
C priedas. SGD terminalo statybos vietos nustatymas SAW, TOPSIS ir COPRAS metodais	142
D priedas. Vėjo jėgainės modelio parinkimas WASPAS metodu	143
E priedas. Vėjo jėgainių parkų jūroje statybos eiliškumo nustatymas perstatymo metodu	144
F priedas. Vėjo jėgainių jūroje pamatų tipo parinkimas Fuzzy MOORA metodu	145
G priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje.....	146
H priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos	158

* Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje

Contents

INTRODUCTION	1
Problem formulation	1
Relevance of the thesis	2
Research object	3
Aim of the thesis	3
Objectives of the thesis	3
Research methodology	4
Scientific novelty of the thesis	4
Practical value of research findings	4
Defended statements	5
Approval of research findings	5
Structure of the thesis	5
1. SIGNIFICANCE OF STRATEGIC MARINE STRUCTURES FOR A COASTAL STATE	7
1.1. Economic contribution of marine structures into the national economy	8
1.2. Role of the Baltic Sea in the development of the region	8
1.3. Classification hydrotechnical structures	9
1.4. Sea ports	10

1.5. Artificial islands	17
1.6. Liquefied natural gas terminal and its significance	20
1.7. Construction of an offshore wind farm.....	23
1.7.1. Offshore wind farms	24
1.7.2. Offshore wind turbines.....	26
1.7.3 Foundations of offshore wind turbines.....	28
1.7.4 Selection of the site for offshore wind turbines.....	32
1.8. Use of multi-attribute decision making methods in the assessment of marine structures.....	33
1.9. Conclusions of Chapter One and formulation of thesis objectives.....	35
2. INTEGRATED ASSESSMENT METHODS FOR MARINE STRUCTURES	37
2.1. Developmental trends of marine structures	38
2.2. Multi-attribute decision making methods and their classification	40
2.3. Definition of criteria significance.....	43
2.4. Multi-attribute assessment methods used for problem-solving	45
2.4.1. TOPSIS method	46
2.4.2. SAW method.....	47
2.4.3. COPRAS method	48
2.4.4. WASPAS method	49
2.4.5. Permutation method	51
2.4.6. Fuzzy set theory	52
2.4.7. ARAS-F method	53
2.4.8. Fuzzy MOORA method	55
2.5. Generalisation of multi-attribute decision making methods used for problem-solving	57
2.6. Conclusions of Chapter Two	57
3. INTEGRATED ASSESSMENT OF MARINE STRUCTURES	59
3.1. Defining significance of criteria with the help of AHP method	60
3.2. Selecting the type of the avant-port in Klaipėda near Melnragė with the help of ARAS-F method	62
3.3. Identifying the site for construction of the liquefied natural gas (LNG) terminal.....	71
3.4. Selecting the best wind turbine model for the Baltic Sea off the coast of Lithuania.....	79
3.5. Defining the sequence of construction works for offshore wind farms.....	85
3.6. Selecting foundations for offshore wind turbines with the help of Fuzzy MOORA method	90
3.7. Conclusions of Chapter Three.....	99
GENERAL CONCLUSIONS	101
REFERENCES	103
LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS OF THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE THESIS	119

SUMMARY IN ENGLISH	121
ANNEXES*	139
Annex A. The weights of the indicators set out of the AHP method	140
Annex B. The selection of deep-water port type by ARAS-F method.....	141
Annex C. Setting the place of LNG terminal construction by SAW, TOPSIS and COPRAS methods	142
Annex D. The selection of wind power station model by WASPAS method.	143
Annex E. Setting the sequence of construction of wind power parks in the sea by permutation method.....	144
Annex F. The selection of foundation type for wind power stations in the sea by Fuzzy MOORA method	145
Annex G. Agreements of co-authors to provide published materials in the thesis..	146
Annex H. Author's scientific publications on the topic of the thesis	158

* The annexes are supplied in the enclosed compact disk

Ivadas

Problemos formulavimas

Jūros uostai ir jų infrastruktūra didžiausia dalimi lemia šiuolaikinės ekonomikos sparčią plėtrą. Paskutinį dešimtmetį jūros statiniams tenka labai svarbus vaidmuo. Europos Sąjungos Baltijos jūros regiono strategijoje (EUSBSR 2009), kuri aktuali visoms šio regiono šalims, numatyta, kad jūros statiniams teks dar didesnė reikšmė šalies ūkio plėtrai.

Geografiškai ir istoriškai Baltijos jūra tapo pagrindine grandimi kelyje tarp Vakarų ir Rytų Europos. Klaipėdos jūrų uostas yra vienas moderniausių Baltijos rytinės pakrantės uostų, aptarnaujančių įvairių tipų krovinius uostas. Tai svarbiausias ir didžiausias Lietuvos Respublikos transporto centras, kuriame susijungia jūros, sausumos ir geležinkelio keliai. Šalčiausiomis žiemomis neužšalantis uostas garantuoja sklandžią laivybą ir nenutrūkstamus krovos darbus. Nepriklausomų Valstybių Sandraugos (NVS) ir Vidurio Rytų šalims Klaipėdos uostas yra patogiausias kelias į Vakarų Europą bei Ameriką. O Tolimųjų Rytų šalims – patogiausias tranzito kelias į Europą.

Konkurencija tarp Baltijos regiono uostų skatina nuolat investuoti į uosto infrastruktūros modernizavimą, rezervinių teritorijų išnaudojimą ir t. t. Padidėjus logistikos pajėgumui, t. y. išnaudojus visas įmanomas vidinio uosto plėtros ir modernizavimo galimybes, tam tikru momentu turimų uosto pajėgumų nebepa-

kaks tolesnei efektyviai uosto veiklai. Siekiant išlikti vienu pirmaujančiu Baltijos jūros uostu, Klaipėdai būtina ieškoti būdų, kaip išlikti konkurencingu. Viena iš galimų (tikėtinų) alternatyvų – išorinis giliavandenis uostas. Tai didelių investicijų reikalaujantis projektas, tačiau neabejotinai duosiantis naudos Lietuvos ekonomikai.

Uostas ir įmonės susijusios su jo veikla užtikrina daugiau nei 23 000 darbo vietų ir sudaro 10,5 % Lietuvos BVP (Klaipėdos miesto savivaldybė 2014). Dar opesnis klausimas Lietuvos ekonomikai už uosto plėtrą – valstybės energetikos diversifikavimas. Dabar pasaulyje energetinis saugumas yra vienas kertinių diskusijos objektų, kuris ne tik padeda sėkmingai kurti šalių ekonominę gerovę, bet ir įtakoja socialinę valstybių raidą (Jakštas 2010). Nagrinėjami du opiausi klausimai – dujų importas ir elektros gamyba. Abu šiuos dalykus iš dalies gali išspręsti jūros ir uosto statinių infrastruktūros gerinimas (naujų statinių ir įrenginių statyba).

Statinys, užtikrinantis nuolatinį dujų importą – suskystintų dujų terminalas, kuris leis panaikinti visišką priklausomybę nuo vienintelio dujų tiekėjo bei užtikrins pirmo būtinumo rezervo funkciją ir t. t.

Kitas statinys (jų grupė) – vėjo jėgainių parkas jūroje. Jūros vėjo energetika yra labai perspektyvi – sparčiai besivystanti elektros energijos technologija. Taip būtų gaminama atsinaujinanti elektros energija (Breton, Moe 2009). Nustatyta, kad Lietuvos Respublikos vandenyse galima pastatyti penkis vėjo jėgainių parkus, kurių bendra galia yra apie 1065 MW (Lietuvos respublikos energetikos ministerija 2010). Pastačius visus galimus parkus jūroje, būtų įvykdyti įsipareigojimai Europos sąjungai ir prisidėta prie Lietuvos energetikos nepriklausomybės.

Disertacijoje nagrinėjami trys svarbūs jūros statiniai – giliavandenis uostas (dirbtinė sala), suskystintų dujų terminalas ir vėjo jėgainių parkų jūroje statyba Baltijos jūroje, ties Lietuvos krantais. Visi šie statiniai yra darnios Lietuvos ekonomikos plėtros pagrindas. Taip pat jie sudarys prielaidas Lietuvos valstybei siekti energetinės nepriklausomybės.

Darbo aktualumas

Jūros statinių statyba – sudėtingas statybos sektorius, turintis dideles perspektyvas. Vėjo jėgainių statyba Baltijos jūroje, ties Lietuvos krantais – vienas iš atsinaujinančių energijos šaltinių plėtros etapų Lietuvoje.

Rytinėje Baltijos jūros pakrantėje esantis Klaipėdos uostas jungia jūros, sausumos ir geležinkelio kelius iš Rytų ir Vakarų. Augantys uosto krovinių srautai verčia svarstyti ir realizuoti planus atnaujinti ir plėsti jau esančią uosto infrastruktūrą.

Uosto ir jūros statinių plėtros uždaviniai apsiriboja keletu kriterijų, o vertinamos alternatyvos dažnai parenkamos ne racionalios. Todėl būtina ieškoti geriausių sprendimo metodų ir kriterijų, kurie užtikrintų darnią uosto infrastruktūros ir jūros statinių plėtrą ir duotų didžiausią naudą Lietuvos valstybei.

Darbe sukurti nauji ir pritaikyti egzistuojantieji uždavinių sprendimo modeliai su praktinio pritaikymo pavyzdžiais. Tokie modeliai įgalina sėkmingą Lietuvos valstybės plėtra suinteresuotas grupes (verslininkus, investuotojus ir politikus) priimti geresnius sprendimus parenkant pajūrio plėtros strategijas ir atrenkant racionalius variantus iš galimų tikslingų alternatyvų.

Tyrimų objektas

Tikslingos pajūrio zonos darnios plėtros strategijų ir statinių diskrečių alternatyvų vertinimas.

Darbo tikslas

Pasiūlyti jūros statinių (išorinio giliavandens uosto, dujų terminalo, vėjo jėgainių parko) galimų variantų plėtros analizės ir vertinimo modelius ir atlikti šių objektų daugiatislį vertinimą.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti, keliami tokie uždaviniai:

1. Nustatyti pajūrio regiono (Klaipėdos pavyzdžiu) statinių plėtros galimybes ir jų statybos tikslingumą.
2. Suformuoti jūros statinių (išorinio giliavandens uosto, dujų terminalo, vėjo jėgainių parko) galimus variantus ir pasiūlyti jų daugiatislio vertinimo modelius.
3. Parengti rodiklių sistemas kiekvienam sprendžiamam uždaviniui ir nustatyti šių vertinimo rodiklių reikšmingumą.
4. Taikant parengtas rodiklių sistemas ir pasiūlytus galimų variantų vertinimo modelius, atlikti jūros statinių daugiatislį vertinimą ir racionalų variantų nustatymą.

Tyrimų metodika

Tyrimai atliekami taikant sisteminio požiūrio ir sisteminės analizės metodologinius principus, sprendimų priėmimo teoriją bei daugiatislių metodų (AHP, TOPSIS, SAW, COPRAS, WASPAS, ARAS-F, Perstatymo, Fuzzy MOORA) kompleksą. Teorinės analizės metu atlikta šiuolaikinės mokslinės literatūros apžvalga, apibendrinimo metu – minėtos informacijos kritinis vertinimas, siekiant nustatyti informacijos validumą, t.y. patikimumą ir tinkamumą praktinėje veikloje. Darbo pabaigoje pateikti pasiūlytų sprendimų praktiniai pavyzdžiai.

Rengiant darbą atlikta mokslinės literatūros apžvalga, remtasi įvairių institucijų ataskaitomis ir statistiniais duomenimis. Pagrindinis visų duomenų šaltinis – elektroninės (interaktyvios) duomenų bazės. Taip pat panaudota Klaipėdos miesto savivaldybės ir Klaipėdos uosto direkcijos kaupiama informacija.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Nustatytos jūros statinių statybos vystymosi kryptys bei pagrindiniai tikslai.
2. Sukurtos efektyvumo rodiklių sistemos, apibūdinančios konkrečius (išorinio giliavandens uosto, dujų terminalo, vėjo jėgainių parko) jūros statinius, ir įgalinančios juos vertinant šių statinių nagrinėjamų variantų efektyvumus.
3. Sukurta jūros statinių variantams vertinti daugiatislio vertinimo sistema, apimanti labiausiai tinkamus atskiriems uždaviniams spręsti metodų derinius: AHP+ARAS-F ir AHP+WASPAS, AHP+Fuzzy MOORA, AHP+Perstatymo metodus.
4. Taikant daugiatislio vertinimo metodų derinius, atliktas jūros statinių (išorinio giliavandens uosto, dujų terminalo, vėjo jėgainių parko) racionalių variantų parinkimas.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Tyrimų rezultatai gali būti naudojami jūros statinių statybos, rekonstrukcijos, modernizavimo eigoje, siekiant išsamiai vertinti strategiškai svarbius statinius (atskirus objektus arba jų visumą). Pasiūlyti daugiatislių vertinimų metodų deriniai gali būti pritaikyti ir kitiems uždaviniams spręsti ne tik statybos srityje.

Ginamieji teiginiai

1. Analizuojant jūros statinių statybos vietos parinkimą, būtina pasitelkti darnaus vystymo rodiklius (aplinkos, ekonomikos, socialinius) ir juos papildyti techniniais rodikliais.
2. Vertinant jūros statinius bei sprendžiant su šiais statiniais susijusias statybos problemas, yra tikslinga taikyti daugiatakslius sprendimo priėmimo metodus ir jų derinius.
3. Daugiatakslių sprendimo priėmimo metodų taikymas leidžia palyginti galimus jūros statinių variantus ir išrinkti racionaliausią.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 6 moksliniai straipsniai: keturi – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Thomson Reuters ISI Web of Science sąrašą – (Bagočius *et al.* 2014a; Bagočius *et al.* 2014b, Bagočius *et al.* 2014c, Zavadskas *et al.* 2015); vienas – recenzuojamoje tarptautinės konferencijos medžiagoje (Bagočius *et al.* 2013), vienas – respublikinės konferencijos medžiagoje (Bagočius *et al.* 2012).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti 2 mokslinėse konferencijose (tarptautinėje ir respublikinėje konferencijoje):

- 11-ojoje tarptautinėje konferencijoje „*Modern building materials, structures and techniques*“ 2013 m. Vilniuje;
- 8-ojoje respublikinėje konferencijoje „*Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje*“ VIII 2012 m. Klaipėdoje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros ir šaltinių bei autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai, santrauka anglų kalba ir aštuoni priedai.

Darbo apimtis su santrauka yra 139 puslapiai, neskaitant priedų, tekste panaudota 49 numeruotos lygtys, 32 paveikslai, 30 lentelių. Rašant disertaciją, buvo panaudoti 196 literatūros šaltiniai.

Strateginių jūros statinių reikšmė jūrinei valstybei

Jūra turi didelę reikšmę šių valstybių, turinčių jūros kranto liniją, ekonomikos vystymuisi ir darniai plėtrai. Vykdomi įvairūs moksliniai tyrimai ir vis didėjančios investicijos leidžia plėtoti įvairių jūros statinių statybą arba jų modernizavimą. Jūros statiniai priskiriami hidrotechniniams statiniams (HTS). Strategiškai ypač svarbūs jūriniai objektai – giliavandenis uostas, suskystintų gamtinių dujų terminalas, vėjo jėgainių statyba jūroje.

Skyriuje pateikiama uostų infrastruktūros apžvalga, Klaipėdos uosto trumpas palyginimas su konkuruojančiais Baltijos jūros uostais. Nagrinėjamos SGD terminalo poreikio ir statybos galimybės Klaipėdos uoste. Apžvelgiama potenciali galimybė, siekiant energetinio nepriklausomumo, statyti vėjo jėgainių parką Baltijos jūroje ties Lietuvos krantais. Skyriaus tematika paskelbti keturi autoriaus straipsniai (Bagočius *et al.* 2014a; Bagočius *et al.* 2014b; Bagočius *et al.* 2014c; Zavadskas *et al.* 2015).

1.1. Jūros statinių ekonominis indėlis į šalies ūkį

Lietuva yra jūrinė valstybė transporto kryžkelėje – čia sueina jūros, sausumos ir geležinkelio keliai iš Rytų ir Vakarų Europos. Klaipėdos uostas – ne tik didžiausias, bet ir bene svarbiausias Lietuvos transporto ir pramonės centras (Lietuvos laisvosios rinkos institutas 2005). Klaipėdos uostą galime vadinti ne tik šalies įvaizdį formuojančiu akcentu, bet ir vienu esminių šalies ekonomikos variklių. Vien iš uosto krovos valstybės biudžetas vidutiniškai papildomas po pusę milijardo litų per metus, o uosto įmonių pajamos siekia apie 1,5 mlrd. Lt. Su uosto veikla susijusios 800 bendrovių, kuriose dirba 23 tūkst. žmonių. Tačiau, jeigu skaičiuosime ir tiesiogines, ir netiesiogines darbo vietas, matysime, kad uostas sukuria apie 185 tūkst. indukuotų darbo vietų – tai yra iki 10,5 proc. visų šalies dirbančiųjų. Be to, uostas susijęs net su 18 proc. viso Lietuvoje sukuriama BVP.

Į Klaipėdos jūrų uostą nuolatos investuojama, modernizuojami ar statomi nauji terminalai. Visa tai leidžia sėkmingai konkuruoti su kaimyniniais jūrų uostais.

Lietuvai priklauso tik apie šimto kilometrų Baltijos pajūrio ruožas. Lietuviai mokslininkų, politikų, verslininkų galvose kyla vis daugiau idėjų, kuo sėkmingiau išnaudoti turimą jūrinį potencialą. Perspektyviausia sritis – vėjo elektros energija, esanti jūroje ties Lietuvos krantais. Kaip rodo kitų šalių praktika, tai vienas potencialiai geriausių variantų, siekiant aprūpinti Lietuvą elektros energija nepriklausomai nuo kitų šalių.

1.2. Baltijos jūros reikšmė regiono plėtrai

Baltijos jūra per siaurus Danijos sąsiaurius siejasi su Šiaurės jūra (Wikipedia 2014). Tai jauna, šelfinė jūra, kuri dabartinį dydį ir formą įgavo maždaug prieš 7000–7500 metų. Nuo Atlanto vandenyno šiaurės vakaruose ją skiria Skandinavijos, o pietvakariuose – Jutlandijos pusiasaliai. Jūra nusidriekusi iš pietvakarių į šiaurės rytus. Šiauriausias Baltijos jūros taškas yra arti poliarinio rato ($65^{\circ} 56'$ š.pl.), o piečiausias – Ščecino įlankoje ($53^{\circ} 40'$ š.pl.). Taigi jūra pagal dienovidinį tęsiasi apie 1350 km ir maždaug tiek pat pagal paralelę, nes labiausiai į vakarus nutolęs taškas yra netoli Flensburgo uosto ($9^{\circ} 25'$ r.ilg.), o į rytus – prie Sankt Peterburgo ($30^{\circ} 15'$ r.ilg.) (Baltijos aplinkos forumas 2009).

Baltijos jūros plotas kartu su sąsiauriais sudaro 425,4 tūkst. km², vandens tūris – 20,1 tūkst. km³. Apie 60 % dugno ploto jūros gylys neviršija 50 m, o didesnio kaip 200 m gylio plotas sudaro tik 0,3 %. Giliausia vieta – Landsorto duburys (459 m).

Baltijos jūra – didžiausias vienoje vietoje susitelkęs mažai druskingo vandens kiekis pasaulyje (dėl daugybės į jūrą sutekančių upių). Ją galima apibūdinti

kaip santykinai mažą, uždara akvatoriją, kurioje vykdoma aktyvi žmogaus veikla (Motiekaitytė, Steponėnaitė 2010). Pagrindinė veikla, kurią galima išskirti – jūrų transportas. Iš visų pasaulio transporto rūšių – tai pats pigiausias transportavimo būdas.

Lietuva kaip ir Latvija bei Estija pasaulyje dažnai yra pristatomos kaip Baltijos šalys. Joms jūra yra labai svarbi bendradarbiaujant su kitomis Europos ir pasaulio valstybėmis. Būdamos nedidelės savo plotu, šios šalys yra jungtis tarp Rytų ir Vakarų.

1.3. Hidrotechninių statinių klasifikavimas

Hidrotechnikos statiniai (HTS) – inžineriniai statiniai vandens ištekliams naudoti ir saugoti nuo žalingų vandens poveikių (Statybos techninis reglamentas 2004) Tai stacionarūs arba plaukiojantys statiniai.

HTS skirstomi į :

- priekrantės (vandens gylis iki 30–50 m);
- žemyno šelfo (vandens gylis iki 200–300 m);
- vandenyno (vandens gylis ≥ 1 km) hidrotechninius statinius.

Pagal naudojimo laiką hidrotechniniai statiniai skirstomi į nuolatinius ir laikinus. Nuolatiniai statiniai pagal galimas pasekmes, sutrikus jų veikimui, skirstomi į pagrindinius ir nepagrindinius. Pagrindiniai yra tokie HTS, kurių griūtis arba pažeidimas sutrikdo hidrosistemos veiklą (pvz. Nutraukiama arba sutrikdoma laivyba ir pan.). Nepagrindiniai HTS yra tie, kurių griūtis ar pažeidimas nesukelia jokių pasekmių.

HTS pagal paskirtį skirstomi į jūrų uostų, krantosaugos, tėkmių ir nešmenų reguliavimo, apsaugos nuo ledo poveikio, atitvėrimo, laivų statybos ir remonto, jūros naftos ir dujų gavybos ir kt. hidrotechninius statinius.

Prieš pradedant vertinti hidrotechninius statinius, atliekami tokie veiksmai:

- išsamūs poreikių ir natūralaus režimo veiksnių tyrimai;
- atliekamas surinktų duomenų ir atliktų tyrimų rezultatų nagrinėjamas;
- nagrinėjamos įvairios sprendimų alternatyvos;
- vertinamas poveikis aplinkai;
- nagrinėjami techniniai ir ekonominiai rodikliai.

Būtina vertinat HTS išnagrinėti natūralaus režimo stebėjimų ir atliktų tyrimų duomenis. Tuo tikslu tiriamos:

- topografinės ir batimetrinės sąlygos;
- geotechninės ir geologinės sąlygos;
- vandens lygis ir jo kaita;
- vandens kokybės rodikliai;
- vėjų režimas;

- bangų režimas;
- klimatinės sąlygos (oro ir vandens temperatūros, oro drėgnis ir kt.);
- tėkmių režimas;
- ledo sąlygos;
- matomumo sąlygos;
- vietinių statybos medžiagų ištekliai ir jų panaudojimo galimybės;
- kitos statybos sąlygos ir galimas statybos laikas.

1.4. Jūros uostai

„Portus“ lotynų kalba reiškia vartai, o prancūzų kalboje žodis „porte“ – durys, tačiau esmė ta pati – tai vieta, kur „įeinama“ (šiuo atveju – įplaukiama) į šalį ar į kontinentą. Ne veltui dažnai sakoma, kad uostas – tai vartai į šalį (Skerys, Christauskas 2010).

Uostas yra natūralus ar žmogaus pastangomis įrengtas nuo bangavimo apsaugotas vandens plotas. Jį sudaro visuma statinių ir įrenginių, užtikrinančių keleivių įlaipinimą ir išlaipinimą, laivų pakrovimą ir iškrovimą, perduodant krovinius kitoms transporto rūšims, taip pat saugų laivų stovėjimą ir techninę priežiūrą (aprūpinimą degalais, vandeniu, maistu, atsarginėmis dalimis, smulkų remontą, ekipažo pasikeitimą ir kt.) (Skerys, Christauskas 2010).

Uostai pagal paskirtį skirstomi į:

- prekybinius (juose iškraunamos ir pakraunamos įvairios prekės, produkcija);
- pramoninius (jie skirti aptarnauti įvairioms pramonės šakoms);
- žvejybos (skirti specialioms žvejybos ir žuvies perdirbimo laivams);
- uostai – slėptuvės (skirti stovėti laivams, esant blogam orui);
- karinius (strateginiams tikslams);
- rekreacinius (skirti turizmui, poilsiui, sportiniams laivams).

Vienos paskirties uostų yra labai mažai, dažniausiai jie yra mišrūs.

Pirmieji uostai buvo natūralūs gamtiniai: apsaugotos nuo bangų įlankos, upių žiotys, salų užstoti krantai. Seniausi žinomi žmogaus įrengti jūros uostai buvo Mesaro (Kretos sala, 3400 pr. m. e.), Sidono ir Tyro. (Paulauskas 1998). Senovėje statyti uostai beveik neišliko – juos sunaikino gamta ir karai, dalis buvo pertvarkyta.

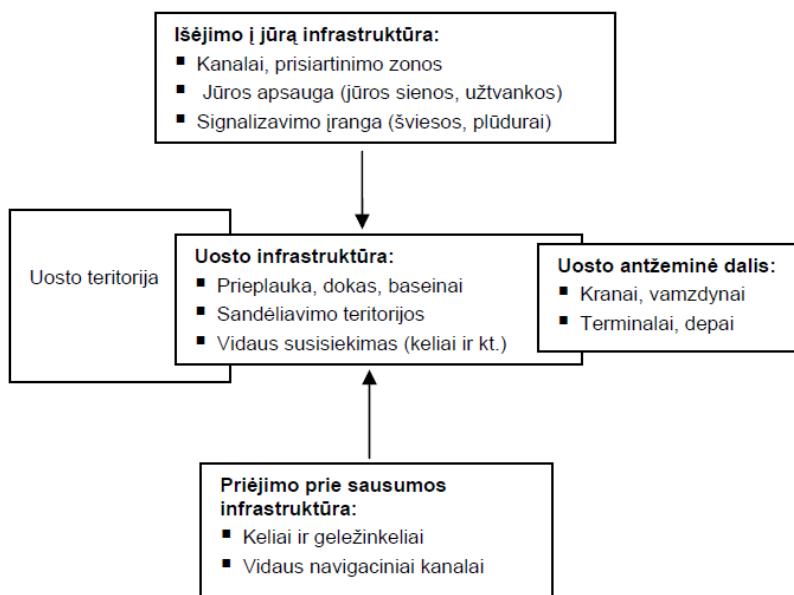
Šiais laikais atsirado naujų uostų: Adenas (Jemenas), Port Saidas (Egiptas), Sietlas (JAV), Vankuveris (Kanada), Osaka ir Jokohama (Japonija), Sidnėjus ir Melburnas (Australija) ir kt.

Mūsų šalies pajūriu XII–XIII amžiuose ėjo gyvos prekybos kelias, jungęs Rygą ir Karaliaučių. Tuo laikotarpiu Pietryčių Baltijos krante didžiųjų upių žiotyse išaugo tokie miestai – uostai kaip Dancigas, Karaliaučius, Klaipėda (Mėme-

lis), Ventspilis, Ryga. Pažymėtina, kad visi minėti uostai pirmame savo raidos etape su atviros jūros krantu turėjo menką ryšį ir didesnio poveikio jam nedarė (Baltijos aplinkos forumas 2009).

Pagrindinis nagrinėjamas disertacijoje uostas – Klaipėdos jūrų uostas, oficialiai įkurtas 1252 metais, nors Nemuno delta, kaip laivų stovėjimo ir krovimo vieta, buvo naudojama ir anksčiau (Paulauskas *et al.* 2001). XVI a. viduryje Klaipėdos konkurentai dancigiečiai užvertė akmenimis Danės uostą, todėl į upę iki pat 1820 m. galėjo įplaukti tik nedideli laivai. 1924–1939 m. Klaipėdos uosto suklestėjimo laikotarpis – pastatytos naujos krantinės, uoste kūrėsi įvairios bendrovės, atsirado Lietuvos laivininkystė. Nuolatinės investicijos į uosto infrastruktūrą leidžia sėkmingai konkuruoti su kitais Baltijos jūros regiono uostais (Klaipėdos uostas 2014a).

Estache ir Rus (2000) Pasaulio Banko Instituto išleistoje knygoje pateikia bendrą uostų struktūros schemą ir apibrėžia skirtingus uostų elementus, kurie yra reikalingi teikiant uosto paslaugas (1.1 pav.).



1.1 pav. Jūros uostų struktūrų schema (Estache, Rus 2000)

Fig. 1.1. Diagram of Seaport Structures (Estache, Rus 2000)

Pateikta schema yra sudaryta pagal Europos Sąjungos pateiktą uosto infrastruktūros apibrėžimą ir vaizduoja skirtingas uosto infrastruktūros dalis, kurios

yra reikalingos, kad užtikrintų uosto funkcionavimą. Kalbant apie uosto suprustuktūrą (antžeminę dalį), galima išskirti fiksuotą turtą, kuris yra pastatytas ant uosto infrastruktūros (depai, kuro tankai, ofiso pastatai ir kt.) bei fiksuotą mobiliąją įrangą (kranai, furgonai ir kt.). Tam, kad uosto teritorija būtų pasiekiamą, reikalinga išėjimo į jūrą (jūros kanalai, apsauga nuo jūros, signalizavimo įranga) bei priėjimo prie sausumos (keliai, geležinkeliai, vidaus navigaciniai keliai) infrastruktūra.

Pagrindiniai uostų tipai pagal privatizavimo lygį ir privataus sektoriaus dalyvavimą uosto veikloje, tarptautinėje praktikoje taikomus uostų organizavimo būdus gali būti suskirstyti į tris kategorijas (Lietuvos laisvosios rinkos institutas 2005):

- paslaugų uostai;
- „Tool“ tipo uostai;
- „Landlord“ tipo uostai.

Paslaugų uostai: uosto valdžia yra atsakinga už visą uostą. Ji savo nuosavybėje valdo visą uosto teritoriją bei antžeminę dalį ir pati samdo darbuotojus uosto paslaugų tiekimui.

„Tool“ tipo uostai: uosto valdžia savo nuosavybėje valdo visą uosto teritorijos infrastruktūrą ir antžeminę dalį (pastatus) bei įrangą (kranus, vagonus, krautuvus). Paprastai uosto valdžia pati yra savo infrastruktūros bei antžeminės dalies naudotoja ir teikia krovinių valdymo paslaugas. Likusias krovinių valdymo paslaugas, pavyzdžiui, laivuose arba priplaukoje, teikia privačios kompanijos, kurios pasirašo sutartis su laivo arba krovinio savininku.

„Landlord“ tipo uostai: uosto valdžia savo nuosavybėje turi uosto infrastruktūrą ir yra atsakinga už jos valdymą. Uosto valdžia nuomoja uosto žemę ir infrastruktūrą privačioms kompanijoms, kurios teikia uosto komercines paslaugas; privačios kompanijos savo nuosavybėje valdo antžeminę uosto teritorijos dalį bei visą įrangą. Tokio tipo uosto valdymas yra taikomas Klaipėdos uoste ir daugelyje uostų Europoje.

Uostas negali egzistuoti be kito ar kitų uostų, todėl visais atvejais uosto infrastruktūra ir darbų technologijos turi būti panašios į kitų uostų infrastruktūrą (akvatorijų ir kanalų gyliai, gyliai prie krantinių, krantinių ilgis ir pan.), o ir darbų vykdymo technologijos uostuose taip pat turi būti panašios (Paulauskas *et al.* 2001).

Baltijos jūra skalauja 9 valstybių krantus – Švedijos, Suomijos, Rusijos, Estijos, Latvijos, Lietuvos, Lenkijos, Vokietijos ir Danijos. Visos šios šalys turi skirtingo ilgio kranto liniją ir nevienodą jūros uostų skaičių.

Ilgiausią Baltijos jūros kranto liniją turi Estija – 3794 km. Švedijos krantus Baltijos jūra skalauja 3218 km ruože. Jos kaimynė – Suomija, turi 1250 km kranto liniją prie Baltijos jūros. Mažiausią kranto linijos ilgį turi Lietuva – tik

99 km. Lietuvos kaimynių – Latvijos ir Lenkijos kranto linijos yra 5 kartus ilgesnės, atitinkamai siekia 531 ir 491 km. (Eurostat 2013).

Daugiausiai uostų Baltijos jūros regione, įskaitant ir Šiaurės jūros uostus, yra Danijoje – 121. Antrą vietą pagal šį rodiklį užima Švedija – 109. Lenkijoje, Estijoje, Latvijoje ir Lietuvoje, uostų skaičius yra mažas: Lenkijoje uostų skaičius siekia 13, Estijoje – 5, Latvijoje – 4, Lietuvoje – 1 (ESPO 2014).

Rytinėse Baltijos jūros šalyse uostų yra nedaug, tačiau jie yra pakankamai dideli ir lenkia daugumą kitų Baltijos regiono uostų pagal perkraunamų krovinių kieki. Dauguma į Baltijos regiono dešimtuką patenkančių uostų yra iš rytinių Baltijos jūros šalių.

Beveik visi Rytų Baltijos uostai atlieka importo ir eksporto operacijas ir yra orientuoti į Rusijos bei kitų Europos šalių krovinių tranzitą. Esami pajėgumai yra didesni už šalių vidaus poreikius. Uoste perkraunamų krovinių kiekis ir atvykstančių turistų skaičius yra vienas pagrindinių uosto veiklos rodiklių, rodančių uosto konkurencinį pajėgumą.

Pagal KVJUD 2013 m. veiklos ataskaitos duomenis, iš visų Rytinės Baltijos esančių uostų pagal perkraunamų krovinių apimtį pirmieji yra Rusijos uostai: Primorskas, Ust Luga ir Sankt Peterburgas (1.1 lentelė). Iš trijų Baltijos šalių Klaipėdos uostas, aplenkęs Ventspilio ir Talino uostus, yra antras. Pirmoje vietoje yra Rygos uostas, o trečioje – Ventspilio.

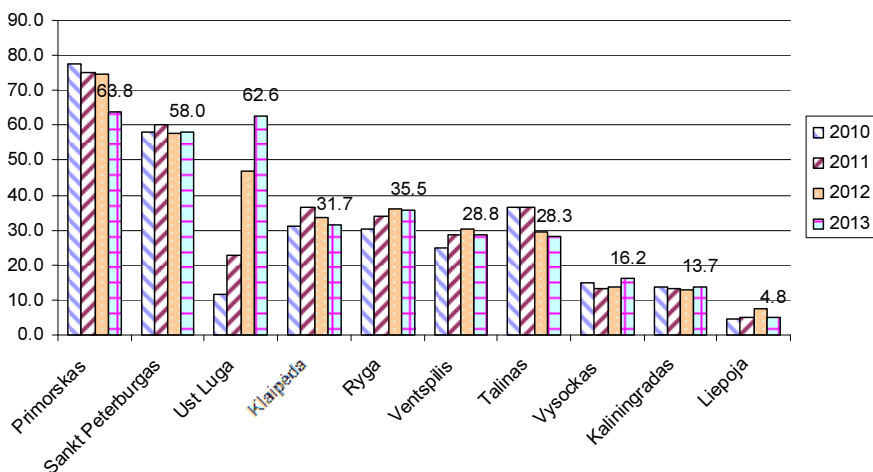
1.1 lentelė. Krovos Baltijos jūroje apimtys, mln. (Klaipėdos uostas 2014a)

Table 1.1. Loads in the Baltic Sea (in million tonnes) (Klaipėdos uostas 2014a)

Uostas	Apimtys		Pokytis, proc.
	2012.01–12	2013.01–12	
Iš viso:	354,25	355,48	+0,35
Primorskas	74,77	63,82	-14,6
Ust Luga	46,79	62,64	+33,9
Sankt Peterburgas	57,81	57,97	+0,3
Klaipėda	33,32	35,24	-5,4
Ryga	36,05	35,47	-1,6
Ventspilis	30,35	28,77	-5,2
Talinas	29,48	28,25	-4,2
Vysockas	13,63	16,16	+18,5
Kaliningradas	12,72	13,67	+7,5
Liepoja	7,43	4,84	-34,9
Vyborgas	1,46	1,51	+3,4

Klaipėdos uoste 2013 m. krauta 33,32 mln. t jūrinių krovinių. Nors tai yra kiek mažesnis kiekis nei 2012 metais (-1,92 mln. t) tačiau tai yra trečioji vieta geriausių krovos rezultatų istorijoje su rekordais konteinerių, žemės ūkio produktų, rūdos ir

naudingųjų iškasenų, statybinių medžiagų krovoje (Klaipėdos uostas 2014a). Lyginant paskutinių keturių metų krovos rezultatus (1.2 pav.) matyti, kad paskutiniu metu Baltijos uostų krova mažėja. Ypač Talino uoste. Tai lemia išaugę Rusijos uostų veiklos srantai, politinė situacija su kaimynėmis iš Rytų ir kt.



1.2 pav. Baltijos jūros rytinės pakrantės uostų krova 2010–2013 m. (mln. t)
(Klaipėdos uostas 2014a).

Fig. 1.2. Port Capacities on the Eastern Shore of the Baltic Sea during 2010–2013
(in million tonnes) (Klaipėdos uostas 2014a).

Nors pagal bendrą apyvartą Ryga Klaipėdą lenkia, Klaipėdos uostas Baltijos šalyse yra konteinerių krovos lyderis (1.2 lentelė) ir tokiu planuoja išlikti artimiausiais metais.

1.2 lentelė. Konteinerių krova Baltijos jūros rytinės pakrantės uostuose, TEU (Klaipėdos uostas 2014a).

Table 1.2. Container handling at the eastern coast of the Baltic Sea ports, TEU
(Klaipėdos uostas 2014a).

Uostas	Apimtis		Pokytis, proc.
	2012.01–12	2013.01–12	
Iš viso:	3512157	3620260	+3,1
Sankt Peterburgas	2524680	2514440	-0,4
Klaipėdos uostas	381278	402535	+5,6
Ryga	362297	381099	+5,2
Talinas	227809	253627	+11,3
Ust Luga	11613	64000	+451,1
Liepoja	4120	4523	+9,8
Ventspilis	360	36	-90

Atlikus Baltijos jūros uostų analizę, nustatyta, kad Klaipėdos uosto pagrindiniai konkurentai yra Rygos, Ventspilio ir Talino uostai.

Klaipėdos uostas (1.3 pav.) – tai labiausiai į šiaurę nutolęs neužšalantis rytinės Baltijos jūros uostas. Tai svarbiausias ir didžiausias Lietuvos Respublikos transporto centras, kuriame susijungia jūros, sausumos ir geležinkelio keliai iš Rytų ir Vakarų.

Uoste dirba 17 stambių krovos, laivų remonto ir statybos kompanijų, teikiamos visos su jūros verslu ir krovinių aptarnavimu susijusios paslaugos. Uostas per metus gali perkrauti iki 60 milijonų tonų įvairių krovinių. Per Klaipėdos uostą eina pagrindinės laivybos linijos į Vakarų Europos, Pietryčių Azijos ir Amerikos žemynų uostus. Uosto teritorija užima 541 ha, o akvatorija – 876 ha. Bendras uosto krantinių ilgis (švartavimui) siekia 26923 m, o uosto geležinkelio ilgis – 79 km. Įplaukos kanalo gylis yra 14,5 m, o maksimali leistina laivų grimzlė – 13,5 m. (Klaipėdos uostas 2014b).



1.3 pav. Klaipėdos jūrų uostas (Klaipėdos uostas 2010)

Fig. 1.3. Port of Klaipėda (Klaipėdos uostas 2010)

Rygos jūrų uostas yra vienas pagrindinių Baltijos jūros regiono logistikos centrų, nusidriekęs abipus Dauguvos upės 15 km atstumu. Uostas užima 6348 ha plotą, iš kurio tik 1962 ha užima sausuma. Bendras krantinės ilgis siekia 13818 m, o maksimali leistina laivų grimzlė – 14,7 m. Uoste sėkmingai veikia 32 krovinių kompanijos ir 35 laivų agentūros (Port of Riga 2014).

Ventspilis yra didžiausias Latvijos uostas ir vienas didžiausių Baltijos jūroje. Uosto teritorija užima 2623,94 ha plotą, iš kurio net 1240 ha yra laisva teritorija. Įplaukos kanalo gylis yra 17,5 m, o maksimali leistina laivų grimzlė – 15 m. Uoste yra 60 krantinių, kurių bendras ilgis yra 11012 m.

Ventspilio uostas neužšąla ištisus metus. Yra 6 naftos ir jos produktų perkrovimo krantinės, kurių maksimalus pajėgumas siekia 65 mln. t per metus. Apie 15 % šių produktų eksportuojama iš Rusijos. Kiti pagrindiniai produktai yra birūs, generaliniai ir skysti kroviniai (Port of Ventspils 2014).

Estija yra jūrinė valstybė, kurios kranto linija yra 6 kartus ilgesnė už sausumos sienų ir sudaro 3800 km, todėl jūrų transportas Estijai yra svarbus ir sparčiai vystomas.

Talino jūrų uostas susideda iš keturių uostų: dviejų didesnių ir dviejų mažesnių vienas nuo kito nutolusių uostų. Didesnieji uostai – tai Senamiesčio (1.6 pav.) ir Mugos, o mažesnieji – Pietų Paldisko ir Paljasarės uostai. Laivybai visi šie uostai tinka ištisus metus.

Mugos uostas pastatytas už 17 km į rytus nuo Talino ant Mugos įlankos kranto. Uosto gylis siekia iki 18 m, todėl jis gali priimti visus Danijos sąsiauriu plaukiojančius laivus. Per Mugos uostą pervežama apie 80 % visų Talino uosto krovinių ir apie 90 % visų per Estiją pervežamų tranzitinių krovinių. Tai vienas giliausių ir moderniausių jūrų uostų Baltijos jūros regione. Uostas sujungtas su likusia šalies dalimi ir yra Estijos tranzito mazgas. Beveik 3/4 Mugos uoste pakraunamų prekių sudaro žalia nafta ir naftos produktai.

Senamiesčio uostas įsikūręs į dešinę nuo viduramžiškojo senojo miesto, o tai yra viena iš priežasčių, kodėl šis uostas vienas žinomiausių ir labiausiai lankomų Baltijos jūros uostų. Uostas yra pagrindinis Estijos keleivių uostas. Per metus jis aptarnauja apie 6 mln. žmonių. Maksimalus jo gylis siekia 10,7 m.

Paljasarės uostas įsikūręs to paties pavadinimo pusiasalyje visai netoli Talino centro. Dėl tokios geografinės padėties uostas yra gerai apsaugotas nuo vėjų ir bangų, laivai į jį įplaukia ir išplaukia 800 m ilgio, 90–150 m pločio ir 9 m gylio kanalu. Tai – medienos, naftos, akmenų anglių uostas.

Pietų Paldisko uostas yra už 50 km į vakarus nuo Talino. Jis įkurtas toje vietoje, kur Rusijos caras Petras I. buvo įkūręs Rogervieko uostą. Pietų Paldisko uostas – metalo laužo, medienos ir ro-ro uostas, kurio maksimalus gylis yra 13 m. (Port of Tallinn 2014).

Siekiant Klaipėdos uostui išlikti konkurencingu uostu svarbu plėtoti uosto infrastruktūrą, kuri leistų:

- integruotis į Europos transporto tinklus bei kuriamą jūrų greitkelių sistemą;
- skatinti šalies eksportuotojus ir importuotojus naudotis uosto paslaugomis;
- užtikrinti maksimalų uosto saugumą (saugią laivybą ir krovą);
- kompleksiskai vystyti uosto infrastruktūrą, kad iš karto būtų galima juos eksploatuoti ir gauti pajamų.

Tokie veiksmai užtikrintų konkurencingumą tarp kaimyninių Baltijos jūros uostų.

1.5. Dirbtinės salos

Dirbtinės salos statyti buvo pradėtos dar XVII a., siekiant pratęsti pakrantės gynybos liniją. Dirbtinė sala – tai sala arba salynas (salų grupė), kuri yra pastatyta, o ne susiformavo natūraliai. Statybos metodai, priklausomai, nuo gamtos sąlygų, būna įvairūs. Pirmiausia, dirbtinai plečiant mažas salas arba sujungiant mažas gamtoje susiformavusias saleles į vieną bendrą salą, pakeičiant jos funkcines savybes. Kitas, priimtinesnis, statybos būdas – statyba ant jūros dugno.

Išskiriama keletas pagrindinių priežasčių dirbtinėms saloms statyti:

- Infrastruktūra (jūrų ir oro uostai);
- Miestų plėtra;
- Besiplečiančios pramonės šakos;
- Poilsio zonų poreikis (pvz. viešbučiai ir vandens parkai);
- Gamtos išteklių gavyba (naftos gręžiniai, vėjo energijos gamyba) ir kt.

Šiuo metu, naudojant naujausias technologijas, galima statyti dirbtines salas net kai jūros dugnas siekia 70 metrų gylį.



1.4 pav. Jumeirah palmė, Dubajus (Technologijos 2014)

Fig. 1.4. Palm Jumeirah, Dubai (Technologijos 2014)

Grandiozinis dirbtinių salų statybų projektas Jungtiniuose Arabų Emyratuose yra vienas didžiausių ir įspūdingiausių. Svarbiausias turistų traukos centras yra nuostabi pakrantė. Arabai sumąstė kelis kartus pailginti savo nedidelės valstybės kranto liniją, sukurdami keletą dirbtinių salų – „Jumeirah“, „Palm Jebel Ali“, ir pati didžiausia „Palm Deira“. Baigus visas tris salas (apie 2020 metus), Dubajaus kranto linija pailgės 520 kilometrų.

„Jumeirah palmė“ (1.4 pav.) – šiuo metu bene didžiausia dirbtinė sala pasaulyje, kurios plotas yra didesnis nei 800 futbolo aikščių. Gylis salos statybos

vietoje siekė 10,5 metrų. Statant salą, supilta 94 mln. m³ smėlio ir 7 mln. t. akmenų. Statyba kainavo per 12,3 mlrd. JAV dolerių, o jos statyboje dirbo per 40 000 darbuotojų (Technologijos 2014).

Grandiozinis dirbtinės salos statybų projektas šiuo metu vykdomas Turkijoje. Baigus statybas, 2014 metų pabaigoje jis bus vienintelis Europoje jūriniu oro uostu, pastatytu ant dirbtinai supiltos salos. Jūrinis oro uostas (1.5 pav.) intensyviai statomas šiaurės Turkijoje tarp dviejų Juodosios jūros pakrantės miestų – Ordu ir Giresuno. Pagal projektą statybų metu į jūrą (19 km. atstumu nuo Ordu miesto ir 25 km. atstumu nuo Giresuno miesto) supilta apie 20 mln. tonų žemės, suguldyta apie 13 mln. tonų akmenų ir šis dirbtinis pylimas dar papildomai padengtas 9 mln. tonų betono sluoksniu. Oro uosto pakilimo – nusileidimo takas bus 3 km ilgio (Cengiz holding 2014).

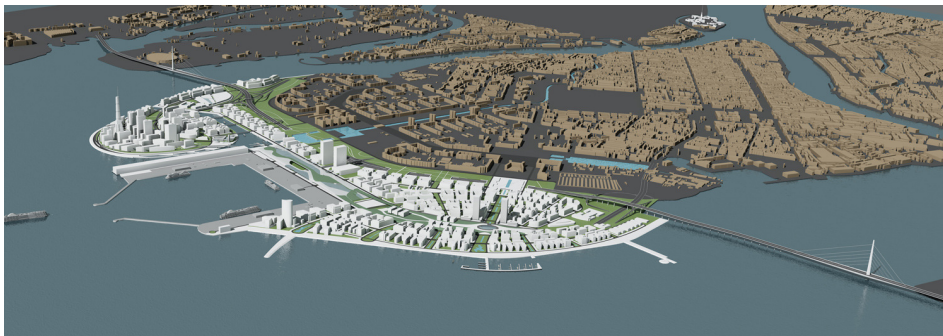


1.5 pav. Ordu ir Giresuno statomas oro uostas (Cengiz holding 2014)

Fig. 1.5. Ordu and Giresun Airport under construction (Cengiz holding 2014)

Sankt Peterburge (Rusija) vykdomas statybos projektas „Jūrų fasadas“ (1.6 pav.). Įlankoje supilta nauja 476 ha teritorija. Rusijoje papildoma teritorija statoma prie jau esančios Vasiljevo salos, už 300–400 metrų nuo kranto.

Rusijos „Jūrų fasade“ pastatytas naujas keleivių terminalas su septyniomis krantinėmis. Pirmajame etape supiltas maždaug 140 hektarų plotas. Iki 11 metrų išgilintas ir naujas laivybos kanalas skirtas priimti didelius kruizinius laivus. Supiltoje Vasiljevo salos dalyje bus skirta apie 3 mln. m³ gyvenamiesiems namams, prekybos, verslo, pramogų centrams statyti. Į salos dalį tiesiamas naujas kelias, kuris eis virš Sankt Peterburgo uosto ir laivybos kanalo 55 metrų aukštyje, kad pro tilto apačią galėtų plaukti laivai. (Port of St. Petersburg 2014).



1.6. pav. “Marine fasade” statomas dirbtinis uostas Rusijoje Sankt peterburge
(Port of St. Petersburg 2014)

Fig. 1.6. Artificial Port Under Construction in St. Petersburg, Russia
(by “Marine facade”) (Port of St. Petersburg 2014)

Rytinėje Baltijos jūros pakrantėje esantis Klaipėdos uostas, planuoja statyti uostą – salą. Išorinis giliavandenis uostas sudarys sąlygas priimti didžiausius laivus, galinčius įplaukti į Baltijos jūrą.

Netgi ir visiškai atnaujinus dabartinį uostą, krovinių apyvartos poreikiai viršys dabartinio uosto pajėgumus maždaug 2020–2025 metais. Tam, kad būtų galima susidoroti su pajėgumų trūkumais ir patenkinti laivybos poreikius priimti BALTMAX tipo laivus, ir siekiant atlaikyti konkurenciją Baltijos jūroje, uostas turėtų būti plečiamas už dabartinės teritorijos ribų.

Uosto pietuose yra daug fizinių trukdžių uosto plėtrai, įskaitant vandenviečių apsaugines teritorijas bei plėtos teritorijų trūkumą ir sausumoje, ir vandens baseine.

Priešingai nei uosto pietuose, vandens baseinas į rytus nuo dabartinio jūrinio kanalo ir jūros pusėn nuo Melnragės paplūdimių atveria dideles laisvas teritorijas išoriniam uostui plėsti. Be to, numatoma, kad dabartinis vidinis kanalas pasieks savo pajėgumų ribą ir ateityje nebegalės patenkinti didėjančių laivybos poreikių. Šie veiksniai verčia plėsti uostą už dabartinio uosto ribų.

Išskiriama keletas Klaipėdos giliavandensio uosto strateginių pranašumų. Pirmiausia, nuolat augantis krovinių srautas iš tolimųjų rytų. Be to, atsiranda galimybė kurti patrauklią, konkurencingą ir modernią infrastruktūrą visiškai naujame uoste (1.7 pav.). Giliavandeniame uoste planuojami tik strateginės reikšmės terminalai.



1.7 pav. Giliavandens uosto Klaipėdoje vizija (JICA 2004)

Fig. 1.7. Designed artificial island illustration in Klaipėda (JICA 2004)

1.6. Suskystintų gamtinių dujų terminalas ir jo svarba

Suskystintų gamtinių dujų terminalas – jūrinis terminalas specialiais dujovežiais gabenamoms suskystintoms gamtinėms dujoms eksportuoti arba importuoti. Terminalas gali būti vandenyje (angl. *off shore*) ir sausumoje (angl. *on shore*). Tanklaiviai priplaukia prie plaukiojančio ar sausumoje stovinčio terminalo ir perduoda suskystintas gamtines dujas (toliau – SGD), kurios konvertuojamos į įprastinio būvio gamtines dujas ir vamzdiniais tiekiamos vartotojams.

Suskystintos gamtinės dujos yra bekvapės, bespalvės, nekenksmingos sveikatai. SGD yra laikomos $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, įprasto atmosferos slėgio sąlygomis (Tarvydas, Gatautis 2006).

Šiuo metu SGD rinka nuolat auga, nes SGD tampa gera alternatyva naftai ir dujoms, kurios tiekiamos vamzdžiais iš išgavimo vietos (Sweco Lietuva 2012).



1.8 pav. SGD tiekimo grandinė (NatGas.info 2013)

Fig. 1.8. LNG supply chain (NatGas.info 2013)

SGD infrastruktūra susideda iš dviejų dažnai dideliu atstumu nutolusių sričių – gamybos ir vartojimo, kurias jungia virtualiu konvejeriu vadinami SGD gabenimo tanklaiviai (1.8 pav.).

Pasaulyje veikia 30 SGD eksporto ir 82 importo terminalai. SGD pramonė sparčiai plečiasi, todėl planuojama įrengti dar 21 eksporto ir 40 importo terminalų. Siekiant užtikrinti SGD terminalo veiklos lankstumą, įrengiamos saugyklos, kuriose saugomos gamtinės dujos. Saugyklos gali būti požeminės, antžeminės arba įrengtos SGD tanklaiviuose.

Šiuo metu didžiausias Europoje SGD importo terminalas „South Hook“ veikia Jungtinėje Karalystėje. Jo pajėgumas siekia net 18 mlrd. m³ per metus (South Hook LNG terminal 2013). Praplėtus Olandijoje veikiančią „Gate“ importo terminalą, jo pajėgumas išaugs iki 22 mlrd. m³ per metus, ir jis taps didžiausiu Europoje (Vopak LNG 2013).

Švedijos terminalas Nineshamne yra pirmasis SGD importo terminalas Baltijos jūros regione. Oficialiai jis buvo atidarytas 2011 m. gegužės 27 d. (Bomin linde LNG 2013).

Arčiausiai Lietuvos statomas SGD terminalas – 2011 m. pradėtas statyti Lenkijoje. Swinemunde uoste vyksta naujo SGD apdorojimo terminalo statybos, kurias planuojama baigti iki 2014 metų pabaigos. (Ludescher *et al.* 2011).

Suskystintų gamtinių dujų terminalas Lietuvoje

Lietuvai dėl istorinių priežasčių gamtinės dujos tiekiamos iš vieno tiekėjo – Rusijos bendrovės Gazprom (Sweco Lietuva 2011).

Siekiui būti energetiškai nepriklausoma valstybe trukdo keletas priežasčių: didelė priklausomybė nuo kuro ir energijos importo, nėra integracijos į ES tinklus, mažas energijos vartojimo efektyvumas, monopolijų dominavimas energetikos sistemose, o taip pat trūksta energijos infrastruktūros plėtros vizijos (Augutis *et al.* 2013).

Dabar pasaulyje energetinis saugumas yra vienas iš kertinių diskusijos objektų, kuris ne tik padeda sėkmingai kurti šalių ekonominę gerovę, bet ir daro įtaką socialinei valstybių raidai (Jakštas 2010).

Paminėtina, kad gamtinių dujų dalis pirminės energijos balanse didėja. Didžiausias gamtinių dujų suvartojimas Lietuvoje buvo pasiektas 1991 m. – 6 mlrd. Nm³ (Sweco Lietuva 2012). Vėlesniais metais dujų suvartojimas Lietuvoje kiek mažėjo. 2009 m. pabaigoje, uždarius Ignalinos AE, gamtinių dujų poreikis vėl pradėjo didėti. Prognozuojama dujų paklausa 2020 m. gali svyruoti nuo 1,6 iki 3,2 mlrd. Nm³ (Sweco Lietuva 2011).

Realii priemonė, kuri galėtų užtikrinti dujų kainų mažėjimą ir panaikinti priklausomybę nuo vieno tiekėjo, yra alternatyvių dujų tiekimo šaltinių atsiradimas. SGD importo terminalas būtų vienas alternatyvių dujų tiekimo šaltinių (Sweco Lietuva 2012).

Tarpžinybinė darbo grupė nagrinėjo dvi technologines SGD terminalo alternatyvas – sausumoje ir vandenyje. Darbo grupė, atsižvelgusi į tokius faktorius, kaip alternatyvaus dujų tiekimo užsitikrinimo svarba, vidutinis metinis Lie-

tuvos dujų suvartojimas, esami ir ateities Lietuvos dujų sistemos pajėgumai, SGD terminalo technologijų įrengimo trukmė, plėtros galimybės, aplinkosauga, saugumas ir kiti aspektai, konstatavo, jog tinkamiausias technologinis sprendimas – terminalas vandenyje (1.9 pav.) (Tarpžinybinės darbo... 2010).



1.9 pav. SGD terminalas jūroje (Foss 2006)

Fig. 1.9. Offshore LNG terminal (Foss 2006)

Suskystintų gamtinių dujų terminalo projektą sudaro suskystintų gamtinių dujų terminalas, susijusi infrastruktūra ir dujotiekis, kuris turi sujungti suskystintų gamtinių dujų terminalą su Lietuvos dujų perdavimo sistema. Suskystintų gamtinių dujų terminalo projekto pripažinimas valstybei svarbiu ekonominiu projektu lemia galimybę taikyti specialias investavimo ir verslo sąlygas (Sweco Lietuva 2011). Pagrindiniai SGD privalumai (Sweco Lietuva 2012):

- panaikina priklausomybę nuo vienintelio tiekėjo;
- užtikrina pirmo būtinumo rezervo funkciją;
- suteikia prieigą prie pasaulinių dujų rinkų;
- tolesnės plėtros kaina yra santykinai nedidelė;
- subalansuoja vasaros/žiemos paklausą ir pasiūlą;
- užtikrina didesnę dujų saugumo talpą nei vien terminalo rezervuaruose.

Planuojant SGD terminalo statybą būtina atsižvelgti į keletą skirtingų rodiklių, turėsiančių įtakos terminalo funkcionalumui, ekonomiškumui ir racionalumui. Svarbiausi SGD terminalo rodikliai (Tarpžinybinės darbo... 2010):

- dydis – nustatomas pagal esamą ir prognozuojamą dujų paklausą, bet ir į egzistuojančios dujų sistemos pajėgumus. Dydis nulemia kokios apimtys laivai tieks suskystintas dujas ir kaip dažnai vyks krova. Svarbu racionaliai parinkti ir efektyviai išnaudoti terminalą;
- įrengimo vieta – parenkama atsižvelgiant į esamą dujų tiekimo infrastruktūrą ir terminalo integraciją. Ji turi įsiliesti į esamą uosto infrastruktūrą arba tenkinti naujos infrastruktūros įrengimo apribojimus. Vieta turi atitikti visus keliamus saugumo bei aplinkosauginius

reikalavimus. Terminalo įrengimo vieta nulemia, kokia technologija bus naudojama;

- technologija – parenkama pagal jos tinkamumą aplinkosauginiu, saugumo ir esamų dujų sistemos bei infrastruktūros požiūriu. Technologija turi būti ekonomiškai efektyvi, o įrengimui reikalingas laikas kuo trumpesnis. Svarbus rodiklis yra galimybė ateityje išplėsti terminalo pajėgumus, jei būtų toks poreikis.

SGD terminalo plėtros planavimo procedūrų metu nagrinėtini techniniai (inžineriniai) rodikliai (Sweco Lietuva 2011):

- planuojama SGD terminalo metinė apyvarta: 2–3 mlrd. Nm^3 gamtinių dujų per metus, 7 mln. Nm^3 per parą. Planuojamas SGD terminalo apkrovimas nuo 30 iki 100 %;
- planuojamas nominalus išdujinimo įrenginio našumas – 230 000 Nm^3/h , maksimalus – 460 000 Nm^3/h , slėgis į tinklą – 60 kg/cm^2 ;
- planuojamas SGD terminalo dydis: 130 000–185 000 m^3 , ilgis – iki 300 m, plotis – iki 50 m, grimzlė – iki 12,5 m.;
- planuojamų priimti SGD transporterių dydis – apie 140 000 m^3 ;
- planuojamas maksimalus siurblio, kuriuo SGD bus pumpuojamos iš SGD transporterio į SGD terminalą, našumas – 12 000 m^3/h (tokiu tempu SGD transporteris būtų ištuštinamas per 10–15 h).

Pažymėtina, kad nurodyti pradiniai parametrai yra preliminarūs, nes vandenyje įrengiamų SGD terminalų technologiniai sprendimai gali būti įvairūs.

Geras pavyzdys Barselonoje esantis „Enagas“ suskystintų gamtinių dujų (SGD) terminalas. SGD terminalas Barselonoje buvo pastatytas dar 1969 metais. Per tą laiką nebuvo nė vieno incidento. Šalia jo vyksta konteinerių, chemijos produktų krova, veikia ro–ro krovinių terminalai. Šiuo metu „Enagas“ terminalo pajėgumas yra 12 milijardų kubinių metrų dujų per metus. (Enagas 2013). Šiame uoste padaryti infrastruktūros ir aplinkosaugos sprendimai gali būti aktualūs ir Klaipėdai.

1.7. Vėjo jėgainių parkų statyba jūroje

Klimato kaita ir globalinis atšilimas yra vieni iš svarbiausių iššūkių, su kuriais susiduria šiandieninis pasaulis (Hessami *et al.* 2011). Pasaulio politikai kalba apie tai, kad energetikos sistemą reikia keisti, nes kitu atveju planetai patirs katastrofinės pasekmės. Žalioji energija (vėjas, saulė, vanduo, bei kiti resursai), kurią laiką laikyta tik entuziastų prasimanymu, tampa vis patrauklesnė stambiojo verslo investicijoms.

Dėl Greitos vėjo energijos technologijų plėtros ji tapo daugiausiai žadančia alternatyva įprastoms elektros energijos generavimo sistemoms (Lee *et al.* 2009).

Vėjo energetikos plėtra tenkina Kioto Protokolo nuostatas (Gamboa, Munda 2007). Vėjo energijos šaltiniai yra neišsiankantys. Jų naudojimas duoda didelę ekologinę, socialinę ir politinę naudą, o artimoje ateityje tiekis ir neabejotiną ekonominę naudą.

Per pastarąjį dešimtmetį įvairiose šalyse daug investuota į vėjo energiją. Įvairios šiuo metu galiojančios energetikos politikos nuostatos numato dar didesnę finansavimą (Green, Vasilakos 2011). Dauguma esamų vėjo jėgainių pastatyta sausumoje, tačiau kai kurios šalys (pirmiausia Europoje) pradėjo statyti jūros vėjo jėgainių parkus. Jūros vėjo elektros energijos generavimas yra visame pasaulyje sparčiausiai auganti atsinaujinančios energijos sritis (Singh *et al.* 2010).

Norima paspartinti vėjo energetikos plėtrą ir toliau tobulinti politiką šioje srityje. WWEA (*World Wind Energy Association*) – Pasaulinė vėjo energijos asociacija – atsižvelgdama į kontinentinių bei nacionalinių asociacijų prognozes, teigia, kad iki 2020 m. įmanomi 1900 GW bendri vėjo energijos generavimo pajėgumai. Didelio šios rinkos augimo tikimasi iš Kinijos, JAV, Vokietijos, Ispanijos, Indijos, ir daugelio kitų šalių, tame tarpe ir Lietuvos (Wind power 2013).

Europos vėjo energetikos asociacijos ataskaitoje nurodoma, kad 2020 metais Europoje bus (The European wind...2014):

- 230 GW pagaminančių įrengtų vėjo energijos jėgainių (190 GW sausumoje, 40 GW jūroje);
- kasmetinių investicijų kiekis sieks 23,5 mlrd. eurų (14,7 mlrd. eurų sausumos įrangai, 8,8 mlrd. eurų jūros įrangai);
- bus generuojama 582 TWh elektros energijos (433 TWh sausumoje ir 148 TWh jūroje);
- 14–17 procentų visos Europos sąjungos energijos paklausos bus patenkinama vėjo energijos jėgainėmis;
- anglies dvideginio (CO₂) kiekis kasmet sumažės 330·10⁶ tonomis.

1.7.1. Jūros vėjo jėgainių parkai

Sausumos vėjo energijos technologijos yra labiau išvystytos negu jūros vėjo jėgainių. Tačiau šiuo metu vis labiau populiarėja vėjo jėgainių parkai jūroje (Vagiona, Karanikolas 2012). Jūros vėjo energetika yra labai perspektyvi – tai yra sparčiai besivystanti elektros energijos technologija, kuri tiektų elektros energiją, neišskirdama šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir nereikalaujanti iškastinių išteklių (Breton, Moe 2009).

Jūrų vėjo energetikos tyrimai bei raida prasidėjo aštuntame praėjusio amžiaus dešimtmetyje. Po daugiau kaip 30 metų plėtros jūrų vėjo energetikos technologijos ženkliai patobulėjo ir jau įžengė į didelio masto plėtros stadiją (Zhixin *et al.* 2009).

Investicijos į jūrų vėjo jėgaines žymiai išaugo. Per 2000–2010 metus, Europos jūrų vėjo jėgainių generuojamos elektros energijos kiekis padidėjo nuo 50 MW iki 1471 GW (50 procentų metinis prieaugis) (Green, Vasilakos 2011).

Nepaisant sparčios plėtros, šiuo metu jūrų vėjo jėgainių generuojamos elektros energijos kiekis yra gana menkas palyginus su jėgainėmis, veikiančiomis sausumoje (tik truputį daugiau negu 2 procentai visos EU vėjo jėgainių generuojamos elektros energijos) (Green, Vasilakos 2011). Tikimasi, kad 2020 metais Europos jūrų vėjo jėgainių generuojamos elektros energijos kiekis sieks trečdalį Europai reikalingos elektros energijos (Zhixin *et al.* 2009).

Europa yra vėjų jėgainių statymo jūroje lyderė. Viena iš vėjo elektrinių statybos jūroje priežasčių yra tinkamų statybos vietų stoka sausumoje.

Europos vėjo energetikos asociacija prognozuoja, kad 2030 m. jūros vėjo elektrinės generuos daugiau elektros energijos nei sausumoje.

Lietuva šioje srityje turi laikytis įsipareigojimų ES. Prognozuojama, kad 2020 m. vėjo jėgainėse galėtų būti generuota 10 proc. nuo bendrojo elektros energijos sunaudojimo kiekio. Valstybė turi sudaryti prielaidas įrengti 500 MW suminės galios vėjo jėgainių (Lietuvos Respublikos... 2012).

Jūrinė aplinka, palyginus su sausumos aplinka, įprastai pasižymi stipresniais ir pastovesniais vėjais. Dėl to galima įrengti didesnes turbinas ir generuoti daugiau elektros energijos. Įprastos sausumos vėjo jėgainės pagamina 0,66 MW elektros energijos, bet jūros vėjo jėgainės jau geba pagaminti 6 MW elektros energijos, t.y. pakankamai elektros energijos, kad galėtų aprūpinti 10000 namų (Household Electricity Consumption 2009).

Palyginti su sausumos vėjo elektrinių įrengimo galimybėmis, jūroje vėjo energetika turi daug svarbių privalumų (Miller, Spoolman 2009):

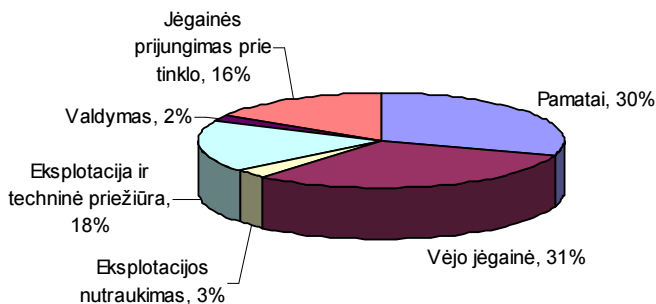
- vėjas stipresnis ir pastovesnis, energijos pagaminama 40 proc. daugiau;
- nematomos nuo kranto, nėra problemų dėl vizualinių ir triukšmo trukdžių;
- galima išvengti teritorinių suvaržymų;
- didesnė elektros energijos generavimo galia;
- geresnis elektros tinklų sujungimas;
- mažesnis vėjo turbulentiškumas – mažesnis įrenginių nusidėvėjimas – mažesnis remonto poreikis.

Išskiriami pagrindiniai statybų jūroje trūkumai:

- didesni projektų įgyvendinimo kaštai;
- brangesni pamatai;
- nepalankus oras riboja statybos darbus;

- ribotas pramonės patyrimas;
- didesni medžiagų atsparumo korozijai reikalavimai (druskos poveikiui vandenyje bei ore);
- saugumas ir įtaka gyvūnijai ir augalijai bei gamtinėms buveinėms.

Vidutiniai jūros vėjo jėgainių kaštai labai priklauso nuo projekto. Tačiau, tyrimai nurodo, kad jūros vėjo jėgainių projektai kainuoja daugiau negu sausumoje vykdomi projektai (Offshore Wind Energy 2001). Papildomi jūros vėjo jėgainių sistemų kaštai susidaro dėl turbinų pamatų statymo ir išlaikymo, turbinos montavimo bei statybos, sistemų veiklos ir jėgainės išlaikymo. 1.10 paveikslas nurodo jūros vėjo jėgainių parko statybos ir išlaikymo vidutines sąnaudas. Tačiau tikslios kiekvienos kaštų kategorijos dalys šioje diagramoje gali labai skirtis nuo individualaus projekto.



1.10 pav. Jūros vėjo jėgainių parkų esančių vandenyje, vidutinės sąnaudos
Fig.1.10. Typical cost breakdown for offshore wind plant in shallow water

1.7.2. Jūros vėjo jėgainės

Šiuolaikinių vėjo turbinų mechaninis sparnų sukamasis judesys per greičių dėžę perduodamas generatoriui, kuris generuoja elektros energiją. Ši energija naudojama elektros varikliams sukuti, šildymui, apšvietimui arba atiduodama į bendrą elektros energetinę sistemą.

Pagrindiniai labiausiai paplitusių rinkoje vėjo turbinų elementai: rotorius, korpusas, bokštas, pamatas.

Vėjo turbinos rotorius susideda iš menčių ir rotoriaus stebulės. Rotoriaus mentėms keliami tokie reikalavimai (Gipe 2004):

- aerodinaminis efektyvumas, kad paimtų iš vėjo kuo daugiau energijos;
- mažas svoris;
- nesudėtinga gamybos technologija;

- pakankamas atsparumas mechaninėms apkrovoms ir klimato poveikiams;
- ilgaamžiškumas.

Visose moderniose vėjo turbinose naudojamos aerodinaminio profilio mentės. Gaminamos tuščiavidurės, iš stiklo pluošto, sutvirtinto poliesteriu ar epoksidine derva (Ackerman 2012).

Svarbiausieji įrenginiai, kurie montuojami korpuse yra šie: pavarų dėžė, elektrinis generatorius, nukrypimo nuo kurso mechanizmas, hidraulikos sistema ir kt. (Vėjo jėgainės 2013).

Didelėse vėjo turbinose bokštui įrengti naudojamas plieninis į viršų siaurėjantis vamzdis. Tačiau mažos galios vėjo turbinoms tinka ir kitokių konstrukcijų bokštai (strypinė plieninė sistema ir kt.).

Vėjo jėgainių veikimas priklauso nuo dviejų svarbiausių komponentų: vėjo turbino ir vėjo.

Ankstesni tyrimai parodė, kad optimalus atstumas tarp vėjo jėgainių turbinų turi būti tarp 5 ir 10 vėjo jėgainių rotoriaus viso skersmens (Maeda *et al.* 2004). Jeigu yra galimybė statyti vėjo jėgaines atsižvelgiant į vėjo kryptį, atstumas gali būti mažesnis (Markevičius *et al.* 2007).

Vėjo greitis yra svarbiausias veiksnys. Besirenkant vėjo jėgainės rūšį, reikia atsižvelgti į vidutinį vėjo greitį, kuris vyrauja ten, kur bus statoma jėgainė (Katinas *et al.* 2009).

Jūrų vėjai yra ne tokie audringi, kokie yra sausumos vėjai, dėl to, kad jūros lygio juosta yra tiesi, o sausumos reljefas yra kreivas ir išlenktas. Taip pat jūrų vėjai yra stipresni, negu sausumos vėjai, todėl vėjo jėgainės gali pagaminti daugiau elektros energijos. Kadangi generuojamos elektros energijos kiekis yra tiesiogiai proporcingas vėjo greičiui pakeltam kubu, padidinus vėjo greitį vos keliais kilometrais per valandą, galima pagaminti žymiai didesnę elektros energijos kiekį. Pavyzdžiui, turbina, stovinti vietoje, kurioje vidutinis vėjo greitis yra 26 km/h, pagamintų 50 procentų daugiau elektros energijos negu turbina, į kurią pučia vidutinis 22 km/h greičio vėjas (Kurian *et al.* 2009).

Norint projektuoti, statyti ir prižiūrėti jūrų vėjo jėgaines, būtina įvertinti tokius veiksnius (Statinių konstruktorių klubas 2012):

- vėją;
- bangų ir vandens srovių apkrovas;
- hidrodinamį ir hidrostatinį vandens slėgį;
- savąjį svorį;
- naudojimo apkrovas;
- ledą;
- temperatūros pokyčius;
- jėgas, veikiančias kamieno viršuje, atsirandančios nuo judančių menčių;
- kita (laivų smūgiai, rūdys, apnašos ir t. t.).

Vienas svarbiausių jūrų vėjo jėgainių elementų yra jų pamatai. Jėgainės bokšto pamatai labai skiriasi priklausomai nuo to, ar jėgainė statoma sausumoje, ar vandenyje. Vėjo turbinos rotorių veikia vėjo spaudimo jėgos. Pavyzdžiui, jei vėjo turbinos rotoriaus skersmuo siekia 100 m, tai, esant 25 m/s vėjo greičiui per rotorių pereina 470 t/s oro masė. Šio spaudimo jėgą padauginę iš turbinos bokšto aukščio (apie 100 m), surasime lenkimo momentą, kuris veikia bokšto pamatą. Pats turbinos bokštas turi atlaikyti vėjo spaudimą esant 50 m/s vėjo greičiui. Pamatą turi atlaikyti dar ir keleto šimtų tonų turbinos bokšto svorį. Todėl pamato atsparumui keliami labai dideli reikalavimai (Kytra 2006).

1.7.3 Jūros vėjo jėgainių pamatai

Didelis susidomėjimas vėjo jėgainių parkų statyba jūroje, kur vandens gylis labai skiriasi, sudaro papildomas problemas, nes skirtingoms vietoms reikalingi skirtingi vėjo jėgainių pamatai, be to, kiekvienos jėgainės statybos reikalauja skirtingų inžinerinių strategijų taikymo (Randolph *et al.* 2005; Rücker 2007; Kim *et al.* 2013). Didžiausias įmanomas vėjo greitis, vandens gylis, bangų aukštis bei srovės ir bangų mūša lemia jėgainės pamatų rūšį bei dizainą. Pačios jėgainės ir jos bokšto svoris bei dydis taip pat yra labai svarbūs elementai. (Byrne, Houlsby 2006; Kaiser, Snyder 2012).

Vėjo jėgainių pamatų statybų kaina gali labai skirtis priklausomai nuo jų statybų vietos – sausumoje ar vandenyje. Įprasti sausumoje esančios vėjo jėgainės pamatai sudaro 4–6 procentus visų investicijų, o jūroje statomų jėgainių – 30 procentų ir daugiau (Lemming *et al.* 2008). Didesnis išlaidų kiekis susidaro dėl to, kad šiuo metu nėra gerai išvystytos jūrų statybos pramonės (Sovacool *et al.* 2008).

Išskiriamos pagrindinės jūrų vėjo jėgainių pamatų rūšys: gravitaciniai, vienpoliai, kesoniniai, trijų polių, plūduriuojančios.

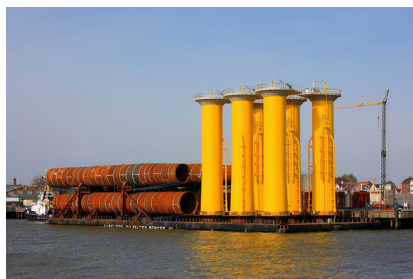
Gravitacinis pamatas (1.11 pav.) – pirmoji gravitacinių pamatų konstrukcija buvo pastatyta Šiaurės jūroje 1973 metais. Ji buvo pastatyta tik iš betono (Singh *et al.* 2010). Gravitaciniai pamatai neleidžia visai konstrukcijai apsiversti, nes jie vieni atsveria visą turbiną. Tokios rūšies pamatai dažniausiai naudojami tokiose vietose, kur per daug sunku būtų įmontuoti polius, pvz. ant kieto akmenų skardžio arba ant tinkamo dirvožemio sekliame vandenyje (Malhotra 2010). Gravitaciniai pamatai yra pigesni nei vieno poliaus (monopoliniai) pamatai, bet įrengimo darbai kainuoja daugiau, nes pamatai reikalauja grunto paruošimo ir specialių laivų, gebančių dirbti su dideliais kroviniais (Volund 2005). Šie pamatai gali būti gana brangūs, jei nusprendžiama statyti vėjo jėgainę gilesnėje vietoje, nes ten ne tik vėjas, bet ir bangos veikia ir gali laisvai apversti vėjo jėgainę (Byrne, Houlsby 2006).



1.11 pav. Gravitaciniai pamatai (NTA 2011)

Fig. 1.11. Gravity base foundation (NTA 2011)

Vieno poliaus pamatai (1.12 pav.) – taip pat vadinami monopoliais, yra dažniausiai naudojama jūrų vėjo jėgainių pamatų rūšis – apie 65 procentai visų jūrų vėjo jėgainių yra pastatyti naudojant šios rūšies pamatus (Byrne, Houlsby 2006; Wind Energy 2012). Vieno poliaus pamatų projektavimas yra paprastas: tai vamzdinė konstrukcija, įkalta į jūros dugną (Randolph *et al.* 2005). Tai dideli pamatai, dažniausiai tarp 6 ir 8 metrų skersmens ir įprastai 40–50 procentų pamatų ilgio yra įkalta į jūros dugną. Jie gali būti iš betono arba plieno. Vieno poliaus pamatų galimybės priklauso nuo jų stiprumo ir aplinkui esančio grunto deformavimosi savybių (Horgan 2013). Betonas ilgiau tarnauja jūrinėje aplinkoje nei plienas. Tačiau dėl didesnio svorio sunku juos naudoti. Dėl to plieniniai monopoliai yra geresnis variantas. Vieno poliaus pamatų konstrukcijos gali būti taišomos 25–30 metrų gylyje (Singh *et al.* 2010).



1.12 pav. Vieno poliaus pamatai (Flickr 2013)

Fig. 1.12. Monopiles (Flickr 2013)

Prisisiurbianti (kesono) pamatų konstrukcija (1.13 pav.) – pirmieji kesoniniai vėjo jėgainių pamatai buvo įregistruoti bei aprašyti 1995 metais (Bye *et al.* 1995). Šie pamatai atrodo kaip dideli kibirai, apversti aukštyn kojomis. Nulei-

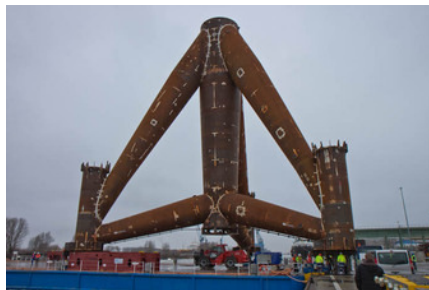
džiant juos ant jūros dugno, jie truputį įsminga į jį. Tada, viduje likęs vanduo yra išsiurbiamas lauk. Šių pamatų privalumas yra ne mažesnis medžiagų sunaudojimas, bet paprastesnė statyba. Atplukdžius kesoninį pamatą į jo statybos vietą tęsti statybas pakanka siurblio. Prisisiurbiančios konstrukcijos taip pat buvo naudojamos kaip inkarai, prisiurbiami prie dugne esančio molio, ir taip pat buvo naudojamos kaip pamatai jūroje esančioms pramoninėms platformoms Šiaurės jūroje. (Singh *et al.* 2010).



1.13 pav. Prisisiurbianti (kesono) pamatų konstrukcija (NOED 2008)

Fig. 1.13. Suction caissons (NOED 2008)

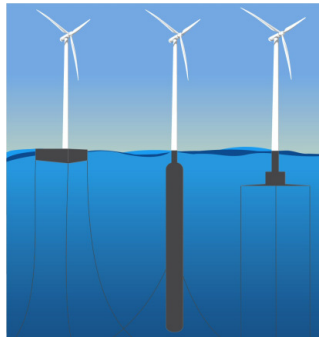
Trijų polių pamatų konstrukcija (1.14 pav.) susideda iš centrinės ašies, prijungtos prie trijų cilindro formos plieninių vamzdžių, per kuriuos poliai yra įkalami (Kaiser, Snyder 2012). Trijų polių rėmas ir poliai yra surenkami sausumoje ir baržomis plukdomi į statybos vietą. Jiems nereikia paruošti dugno (Kurian 2009). Trijų polių pamato konstrukcija yra gera tuo, kad ji gali atlaikyti dideles jūrų vėjo apkrovas net dideliame gylyje (iki 50 metrų) (Senderr 2005).



1.14 pav. Trijų polių pamatų konstrukcija (Seestadt Brememmerhaven 2012)

Fig. 1.14. Tripod (Seestadt Brememmerhaven 2012)

Plūduriuojanti pamatų konstrukcija (1.15 pav.) – kuo toliau nuo kranto projektuojami vėjo jėgainių parkai, tuo labiau yra tikėtina, kad bus naudojamos plaukiojančios (plūduriuojančios) platformos (dėl finansinių ir statybinių priežasčių) (Kaiser, Snyder 2012). Tokios konstrukcijos išlaiko atitinkamą (pakanamą) plūdrumo lygį, t. y. geba išlaikyti turbiną bei palaikyti pačią platformą (jos nuolydį, reakciją į bangas, judesius) nustatytose ribose. Dažniausiai taikoma statinio pastovumo analizė, kuri nulemia visą plūduriuojančių konstrukcijų architektūrą. Platformos yra trijų rūšių ir skirstomos pagal jų struktūrinį principą ar strategiją, kuriuo užtikrinamas statinis pastovumas. Platformos gali būti: plūdurai, balastai, ir švartavimosi lynai (Singh *et al.* 2010).



1.15 pav. Plūduriuojančios pamatų struktūros (Renewable recruitment 2013)

Fig. 1.15. Floating Structures (Renewable recruitment 2013)

Karkasinė pamatų konstrukcija (1.16 pav.) dažniausiai būna keturių polių ir gaminama iš cilindrinčių plieno vamzdžių panašiai kaip ir trijų polių konstrukcijos (Lozano-Minguez *et al.* 2011). Karkasiniai pamatai yra atvira plieninė gardelės principu projektuota santvara: rėmas, suvirintas iš vamzdžių, įmontuotas į jūros dugną ir kyšantis virš vandens. Poliai yra sukalami per kiekvieną konstrukcijos koją arba per gaubto formos polių, esantį konstrukcijos apačioje. Taip užtikrinamas stabilumas ir pasipriešinimas šoninėms jėgoms. Karkasinės konstrukcijos yra tvirtos ir sunkios. Joms gabenti ir kilnoti reikia brangios įrangos (Kaiser, Snyder 2012). Karkasiniai pamatai geri tuo, kad jie yra tvirtos struktūros ir lengvai atlaiko jūrų bangų sukeltą jėgą, nes bangos prasiskverbia pro pačius pamatus. Taigi, naudojant karkasinius pamatus, bangų poveikio jėga yra sumažinama, konstrukcijos yra tvirtos ir mažiau priklausomos nuo jūros dugno. Tokia struktūra labiau pritaikyta, kur jūra yra gilesnė, kur bangos įprastai didelės, ir ten, kur prastas gruntas (Rambøll Wind.... 2009). Tokie pamatai statomi 25–50 metrų vandens gylyje (Lozano-Minguez *et al.* 2011).



1.16 pav. Karkasinė pamato konstrukcija (Smulders Foundations 2012)
Fig. 1.16. Jacket foundation (Smulders Foundations 2012)

1.7.4. Jūros vėjo jėginių statybos vietos parinkimas

Vėjo jėginių parkų jūroje plėtra naudinga vargingiems jūriniams regionams, kur labai sunkiai išsilaiko žuvininkystės ir laivų statybos šakos. Norint parinkti tinkamą teritoriją jūros vėjo jėgainėms, visas regionas turi būti detalai ištirtas.

Trys pagrindiniai veiksniai, kurie lemia vėjo jėginių parkų statybų vietą yra tokie: potencialiai generuojamos vėjo energijos kiekis, energetinės sistemos prieinamumas ir sąlygos statyboms (Ozerdem *et al.* 2006).

Norint išanalizuoti galimas vietas vėjo jėgainėms statyti, svarbu surinkti bei apdoroti visą reikiamą informaciją ir detalai apibrėžti visas ypatybes ir parametrus, susijusius su statybos vieta. Šie duomenys gali būti skirstomi taip (Murphy *et al.* 2011):

- informaciją apie draustinas (apribotas) dominančio regiono teritorijas;
- informaciją, suteikiančią svarbius duomenis apie dominančio regiono teritoriją.

Pirmoji grupė apima visus gamtos ir žmonių nustatytus apribojimus, galiojančius tiriamoje jūros teritorijoje. Tai apriboja konkrečios teritorijos naudojimą. Tai apibrėžia išskirtines vietas ir jos nenagrinėjamos (Murphy *et al.* 2011):

- įplaukimai į uostus bei navigacijos maršrutai;
- teritorijos, apribojamos aplinkos veiksmų;
- naftos ir dujų išgavimo vietos;
- karinių pratybų teritorijos;
- teritorijos, kuriose yra povandeniniai laidai ir vamzdynai;
- smėlio bei žvyro gavybos vietos;
- jūrinės archeologijos darbų vietos;
- draustinių bei gamtos paveldų teritorijos.

Antrajai grupei priklauso visi techniniai apribojimai. Jais apibrėžiamos vietos tinkamumas jūrų vėjo energijos generavimui (Murphy *et al.* 2011):

- vandens gylis;
- atstumas nuo kranto;
- vėjo energijos ištekliai;
- investicijų kaštai;
- gaminamos energijos kiekis (pajėgumas);
- laikas, skirtas projektui įgyvendinti;
- ribojamas CO₂ kiekis;
- akustinis triukšmas;
- socialinis priimtinumumas;
- jūros dugno geologija;
- saugumas;
- teritorijos plotas;
- didžiausias elektros energijos generavimo kiekis teritorijoje;
- kita.

Surinkus visus reikalingus duomenis, informacija apdorojama ir pagal ją nusprendžiama pati tinkamiausia vėjo jėgainių parko statybos vieta, t. y. atliekama daugiatikslė analizė.

1.8 Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodų taikymas jūros statiniams vertinti

Strategiškai svarbūs jūros statiniai buvo išskirti ir pagrįsti literatūros analize. Taip pat nustatyta, kokius metodus ir kada naudojo mokslininkai tyrimams atlikti, uždaviniams spręsti, rezultatams vertinti. Buvo analizuojami pagrindiniai disertacijoje nagrinėjami statiniai: giliavandenis uostas ir su juo susijusi infrastruktūra, SGD terminalas bei vėjo jėgainių parkai jūroje.

Wiegmans *et al.* (2008) nagrinėjo su konteinerių terminalo pasirinkimu giliavandeniams konteinervežiams susijusią problemą. Studijos atskleidė, kad priimami sprendimai kiekvienam konteinervežiui, prekybos uosto tipui yra skirtingi, tai reiškia, kad kiekvienai prieigai taikomi skirtingi dydžiai: aptarnavimo greitis, išlaidos, patikimumas ir atokiau nuo kranto esantys ryšiai.

Didelė dalis mokslinių pastangų sutelkta į kiekybinių modelių plėtrą objektyviems duomenims nagrinėti ar kokybiniais modeliais subjektyviai vertinti.

Mokhtari *et al.* (2012) teigia, kad uosto plėtrai didžiausia problema ta, kad uosto profesionalai (pvz.: uosto rizikos vadovai ir uosto auditoriai) susiduria su tinkamos metodologijos ir vertinimo technikos trūkumu siekiant palaikyti jų sprendimus.

Önüt ir Soner (2008) kaip problemą nurodė vietos pasirinkimo svarbą. Sistemos sudėtingumas vietai pasirinkti yra grindžiamas alternatyvių sprendimų ir vertinimo kriterijų svarstymu. Vertinimo procedūros nagrinėja keletą objektų.

Vertinimo procesas apima dažnai vienas kitam prieštarigus rodiklius, todėl dažnai reikalingi kompromisai. Buvo nustatyta, kad daugiatikslis sprendimų priėmimas buvo naudingas sprendžiant šios rūšies uždavinius. Yra daug metodų, kuriuos galima taikyti siekiant išspręsti vietos parinkimo uždavinius. Šiai problemai spręsti buvo taikomi skirtingi daugiatiksliai modeliai. Vietos pasirinkimo problemai spręsti naudojamas neapibrėžtos TOPSIS (artumo idealiam taškui) ir AHP (Analitinės hierarchijos procesas) metodai.

Dauguma mokslininkų mano, kad vežėjai turėtų siekti sumažinti bendras eksploatacijos išlaidas pasirinkdami tinkamiausią uostą, o vežėjai galėtų sumažinti savo tarptautinės prekybos importo ir eksporto krovinių išlaidas pasirinkdami arčiausią uostą. Ši modelį sudaro du etapai (Chou 2010a). Pirmajame etape konteinerių transportavimo poreikio pasidalijimo rodiklis apskaičiuojamas taikant daugiatikslį sprendimų priėmimo metodą. Antrajame etape vidaus kilmės paskyrimui nustatyti siūlomas optimizavimo tinklinis matematinio programavimo modelis. Prekybinio laivyno operacijų atlikimas priklauso nuo efektyvaus laivas – krantas sąsajos. Šiame procese jūrinio tiekėjo pasirinkimas pagal laivo operacinius poreikius yra pagrindinis sprendimų priėmimo objektas. Metin, Key (2010) siūlo integruotą sprendimų priėmimo paramą jūrinio tiekėjo pasirinkimo procesui modeliuoti. Siūlomos metodologijos pagrindą sudaro stiprybių, silpnybių, galimybių ir grėsmių analizės derinimas su AHP ir TOPSIS metodais. Tai leidžia sprendimų priėmėjams suderinti rinkos dinamiką ir laivų darbinės aplinkos logistinius poreikius. Tai apima kelionės jūra, uosto laikotarpiai ir dokavimo įrenginiai. Integruotos metodologijos vartotojui draugiška sąsaja suteikia laivininkystės atstovams galimybę integruoti siūlomą metodologiją į laivo valdymo technines procedūras.

Chou (2010b) konstruoja AHP grįstą modelį imituoti vežėjo elgesiui renkantis uostą ir nustatant kiekvieno rodiklio svarbą, įtakojantį uosto pasirinkimą daugelio uostų regione. Chou (2007) siūlo naują neapibrėžtą daugiatikslį sprendimų priėmimo metodą uosto pasirinkimo problemą konteinerių perkrovai neapibrėžtoje aplinkoje.

Chou *et al.* (2010) nagrinėja uždaviniui spręsti subjektyvius įverčius, kurie dažnai naudojami sprendžiant tikro gyvenimo problemas. Nors buvo pateikta daug tyrimų sprendimų priėmimo problemoms spręsti, dauguma jų buvo skirti kiekybinių modelių plėtrai objektyviems duomenims apdoroti arba kokybinius modelius subjektyviems vertinimams apdoroti. Siūlomo neapibrėžto sprendimo priėmimo naudojimas demonstruojamas su konteinerių perkrovimo uosto pasirinkimo vietos socialiniu tyrimu.

Castillo, Dorao (2012) teigė kad SGD projektų sprendimo vertinimas – gana sudėtingas procesas. Dėl didelių investicijų, ilgos kapitalinių lėšų gražos sunaku rasti suinteresuotų privačių investuotojų. SGD projekto detalus ir efektyvus

vertinimas yra būtinas statybos rizikai sumažinti. Šiame darbe pateikiamas sprendimo priėmimo procesas pagrįstas lošimų teorija.

Tvarios elektros energijos gamybos alternatyvos vis dar yra savotiškai sudėtingas iššūkis. Modernios technologijos turi būti apibrėžiamos pagal joms taikomas rodiklių grupes. Alternatyvas apibrėžiantiems rodikliams taikomi skirtingi matavimo vienetai ir optimizavimo kryptys.

Martin *et al.* (2013) taiko TOPSIS metodą vertindami abstrakčius jūrinių vėjo jėgainių atraminių konstrukcijų projektavimo procesus. Collu *et al.* (2012) tyrė projektuojamus jūrų vėjo jėgainių vertikalios ašies atraminių konstrukcijų plotus. Alternatyvos yra vertinamos taip pat TOPSIS metodu. Lozano-Minguez *et al.* (2011) sistemingai įvertino geriausias alternatyvas atsižvelgdamas į įvairius apribojimus, jūrines atramines konstrukcijas, bei kelis skirtingus TOPSIS metodo rodiklius. Taip jis nustato standartą visiems galimiems pasirinkimams. Lee *et al.* (2012) pristatė integruotą sprendimo analizės modelį, kuris apima interpretacinį struktūrinį modeliavimą (ISM), neapibrėžtą analitinį tinklinį procesą (FANP) ir VIKOR metodą. Kaya ir Kahraman (2010) taikė integruotą neapibrėžtą VIKOR ir AHP metodus geriausiai atsinaujinančiai energijos alternatyvai Stambulo mieste nustatyti. Van Haaren ir Fthenakis (2011) siūloma erdvinė daugiatikslė metodologija buvo tuomet taikoma Niujorko valstijoje vėjo jėgainių statybai atliekamai analizei. Rezultatai buvo lyginami pagal daugiatikslę analizę, su vietomis, kur yra pastatyti vėjo jėgainių parkai. Khan ir Rehman (2012) pristatė tyrimą efektyvioms vėjo jėgainėms Saudo Arabijoje analizuoti. Tyrimas pagrįstas neapibrėžtų racionalių sprendimų metodu.

1.9. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Jūros statinių statyba, modernizavimas ir inovacijų įgyvendinimas skatina ekonomikos plėtrą bei energetinę diversifikaciją. Tokie statiniai ne tik sudaro prielaidas plėtoti verslą, bet yra gilesnių mokslinių tyrimų pagrindas, kuriuo remiantis bus galima vertinti tolimesnę jų statybą.

2. Išnagrinėjus literatūros šaltinius nagrinėjama tema nustatyta, kad jūros statinių statyba ir modernizavimas yra svarbi ir aktuali tema šiuo metu. Nedidelis literatūros šaltinių skaičius leidžia teigti, kad jūros statinių vertinimas nėra plačiai išnagrinėtas.

3. Išnagrinėjus kitų autorių paskelbtus straipsnius apie jūros statinių daugiatikslį vertinimą, pastebėta, kad tiriamos tik siauros sritys (atskiri rodikliai). Vertinimo veiksmingumas ir naudingumas mažėja, jei neatliktas statinių kompleksinis vertinimas.

4. Jūros statinių vertinimo uždaviniai sprendžiami kompleksškai įvertinant specifinių kiekvieno statinio rodiklių aibę. Uždaviniai apibrėžiami atskirais tikslais, kurie aprašomi kiekybiniais ir kokybiniais rodikliais.

Atsižvelgiant į apibendrinimus, suformuluoti tokie pagrindiniai šio darbo uždaviniai:

1. Suformuoti jūros statinių (išorinio giliavandens uosto, dujų terminalo, vėjo jėgainių parko) galimus variantus ir pasiūlyti jų daugiatislio vertinimo modelius.

2. Parengti rodiklių sistemas kiekvienam sprendžiamam uždaviniui ir nustatyti šių vertinimo rodiklių reikšmingumą.

3. Taikant parengtas rodiklių sistemas ir pasiūlytus galimų variantų vertinimo modelius, atlikti jūros statinių daugiatislį vertinimą ir racionalų variantų nustatymą.

Kompleksinio vertinimo metodai jūros statiniams

Antrame skyriuje pateikiamos jūros statinių vystymosi ir plėtojimo kryptys, nagrinėjama daugiatikslių vertinimo metodų galima klasifikacija, analizuojami daugiatiksliai, kokybiniais ir kiekybiniais matavimais pagrįsti sprendimo priėmimo metodai: AHP – (*The Analytic Hierarchy Process*), TOPSIS – (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), SAW – (*Simple Additive Weighting*), COPRAS – (*COmplex PROportional ASsessment*), WASPAS – (*Weighted Aggregated Sum Product Assessment*), ARAS-F – (*Fuzzy Additive Ratio Assessment*) Fuzzy MOORA – (*Fuzzy Multi – Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis*), Galimų sprendimų variantų sutvarkymas pagal prioritetą (*Perstatymo metodas*). Pateikiami metodų matematiniai aprašai.

Skyriaus tematika paskelbti keturi autoriaus straipsniai (Bagočius *et al.* 2014a; Bagočius *et al.* 2014b; Bagočius *et al.* 2014c; Zavadskas *et al.* 2015).

2.1 Jūros statinių vystymo kryptys

Lietuva siekia vykdyti aktyvią jūrų transporto politiką ir užsitikrinti jūrinės valstybės statusą plėtojant jūros statinių statybą. Dabartinė LR Vyriausybė savo veiklos programoje, siekdama plėtoti jūrų transportą ir didinti uosto konkurencingumą, jūrų sektorių identifiko kaip vieną iš svarbiausių prioritetinių sričių. Valstybės, privačios ir ES investicijos, skirtos strateginiams jūros statiniams, kurie užtikrintų didžiausią naudą uosto veiklai ir projektams, susijusiems su energetine diversifikacija.

Lietuvos Respublikos Vyriausybė stengiasi, kad Lietuva galėtų tvirtai išnaudoti jūrinės valstybės teikiamu privalumu (jūrinės valstybės jurisdikcijai priklauso pajūrio ruožas, jūros akvatorija ir uostai) (Puidokas, Andriuškaitė 2012).

Visų pirma yra atrinkti svarbiausi Lietuvos Respublikai projektai: išorinis giliavandenis uostas, suskystintų dujų terminalas, vėjo jėgainių parkai.

Neužšalantį Klaipėdos jūrų uostą ir palyginti gerą infrastruktūrą galima laikyti vienu iš svarbiausių valstybės konkurencinių pranašumų, sudarančių sąlygas realiai šalies ekonominei ir politinei nepriklausomybei užtikrinti. Siekiama visapusiškai ištirti ir įvertinti modernaus giliavandens jūrų uosto statybos galimybes. Susiklosčius palankiai rinkos situacijai, planuojama pradėti statyti giliavandenį Klaipėdos jūrų uostą. Analizuojant literatūrą, išryškėjo pagrindinės Klaipėdos uosto stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės (Burskytė *et al.* 2011; Klaipėdos uostas 2014a; Puidokas, Andriuškaitė 2012):

Klaipėdos uosto stiprybės:

- hidrometeorologinės sąlygos;
- uosto infrastruktūra leidžia priimti PANAMAX tipo laivus;
- palanki geografinė padėtis.

Klaipėdos uosto silpnybės:

- uosto akvatorijos gylis mažesnis nei kai kuriuose konkuruojančiuose uostuose (negalima priimti BALTMAX tipo laivų);
- Klaipėdos jūrų uosto infrastruktūra nepakankamai pritaikyta keleiviams aptarnauti;
- uosto teritorija ribota (uostas – mieste), trūksta laisvų teritorijų, leidžiančių plėsti sandėliavimo plotus ir aptarnauti didesnius krovinių srautus.

Klaipėdos uosto galimybės:

- palyginti su kitais Baltijos uostais, nesunkiai pasiekiami maksimalūs Baltijos jūros uostų gyliai, todėl yra galimybė jūroje pastatyti uosto dalį su giliavandenėmis prieplaukomis;
- Klaipėdos valstybinio jūrų uosto infrastruktūros ir jūros statinių kompleksas pripažintas valstybei svarbiu ekonominiu projektu.

Grėsmės Klaipėdos uostui:

- naujai statomi kaimyninių šalių (ypač Rusijos) uostai ir terminalai Baltijos jūros regione;
- Rusijos siekis nukreipti Rusijos ir trečiųjų šalių krovinius per Rusijos uostus.

SGD terminalas – vienas svarbiausių energetinių saugumą užtikrinančių projektų, kuris sukuria sąlygas gamtinių dujų rinkos atsiradimui bei duoda ekonominę naudą valstybei ir gamtinių dujų vartotojui vartotojams. SGD terminalo statybos būtinumą atskleidė SSGG (SWOT) analizės pagrindiniai teiginiai (SGD verslo planas 2012):

SGD stipriosios pusės:

- įsigytas SGD laivas-saugykla yra vienas ekonomiškiausių tokio tipo įrenginių: turintis 170 tūkst. m³ talpyklas;
- technologija (FSRU) yra mobili ir reikalui esant galima pakeisti dislokacijos vietą;
- veikiant SGD terminalui išauga dujų tiekimo sistemos patikimumas dėl papildomo tiekimo šaltinio;
- su pastatytų vamzdynų pralaidumais bus galima užtikrinti jautriausių dujų vartotojų poreikius net ir nutraukus dujų tiekimą iš Rusijos.

SGD silpnosios pusės:

- techniniai ir komerciniai apribojimai: griežtos SGD tiekimo sąlygos, t.y. technologinis išdujinimo minimumas neleidžia staigiai reaguoti į paklausos pasikeitimus;
- ribotos galimybės saugoti dujas SGD terminale dėl pastovaus garavimo, per metus SGD terminalui nedarant išgaruotų apie 100 000 m³ SGD, už 60–70 mln. Lt.;
- Lietuvoje nėra gamtinių dujų poreikio subalansavimo galimybių (reikia pastatyti požeminę gamtinių dujų saugyklą).

SGD galimybės:

- atsiradus momentiniam pertekliui pasaulinėse dujų rinkose galima įsigyti pigias dujas trumpalaikiais kontraktais;
- galimybė įsigyti dujas kainomis, nesusietomis su naftos indeksais;
- pasaulinė SGD rinka sukuria galimybę pirkti dujas konkurencingomis kainomis;

SGD grėsmės:

- dujų perdavimo sistemai lieka pavojus dėl techninių apribojimų prekybai;
- „Gazprom“ neribotos Lietuvos atžvilgiu finansinės ir technologinės galimybės konkuruojant su SGD terminalu atveju pateikti geresnes tiekimo sąlygas ir kainas;
- silpna dujų vamzdynų sistema kaimyninėse valstybėse.

Jūrų vėjo energetikos plėtojimo Baltijos jūroje potencialas yra ypatingai didelis, lyginant su kitais vandens telkiniais, supančiais Europą. Jūrų vėjo energetikos plėtojimo galimybes rimčiau vertinti turėtų ir Lietuva. Išskiriamos pagrindinės stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės kurios gali lemti vėjo jėgainių parkų statybą jūroje.

Vėjo jėgainių parkų jūroje stiprybės:

- vėjo jėgainės pagamina švarią ir klimato nešildančią elektros energiją konkurencingomis kainomis;
- vėjas stipresnis ir pastovesnis, energijos pagaminama 40 proc. daugiau;
- nematomos nuo kranto, nėra problemų dėl vizualinių ir triukšmo trukdžių.

Vėjo jėgainių parkų jūroje silpnybės:

- jūros gylis siekia 30 m ar net daugiau, todėl jiems reikalingos naujoviškos pamatų tvirtinimo technologijos;
- brangesni pamatai;
- didesni medžiagų atsparumo korozijai reikalavimai, t. y. druskos poveikiui vandenyje, bei ore.

Vėjo jėgainių parkų jūroje galimybės:

- turbinų gamintojai projektuoja ir pradeda gaminti naujo tipo didesnes, taigi ir ekonomiškesnes jūroje statyti pritaikytas vėjo turbinas;
- vėjo energijos panaudojimas mažina organinio kuro importą ir kartu didina energetinę nepriklausomybę.

Vėjo jėgainių parkų jūroje grėsmės:

- blogomis oro sąlygomis labai sunki statyba ir priežiūra;
- statybos ir priežiūros metu tikėtinos (galimos) avarijos.

Pagal SSGG analizę matoma, kad kiekvienas projektas turi skirtingą aibę rodiklių, kurie yra skirtingų matavimo vienetų, turi skirtingas optimizavimo kryptis ir dažnai yra vieni kitam prieštaringi. Pastarąjį dešimtmetį sparčiai plėtojami daugiatisliai sprendimų priėmimo metodai. VGTU prof. habil. dr. E. K. Zavadskas sukūrė savo mokyklą ir yra sukūręs daugelį naujų metodų bei naujai pritaikęs egzistuojančius, kitų autorių sukurtus modelius bei metodus. Norint sėkmingai parinkti tinkamiausias alternatyvas kiekvienam iš nagrinėjamų objektų, būtina atlikti daugiatislį sprendimo priėmimo vertinimą.

2.2. Daugiatislių sprendimo priėmimo metodai ir jų klasifikacija

Sprendžiant statybos uždavinius, dažnai reikia susieti kiekybinių ir kokybinių rodiklių vertinimą, suderinti skirtingus tikslus. Tokius uždavinius tikslinga spręsti daugiatislio vertinimo metodais.

Daugiatikslių metodų taikymas įvairiose srityse padeda greičiau ir racionaliau išspręsti aktualias problemas.

Šiuo metu sukurta nemažai sprendimo priėmimo metodų, kurie bendruoju atveju vadinami daugiatiksliais sprendimų priėmimo metodais (angl. *Multi-Criteria Decision Making*).

Mokslininkai (Zimmermann 1996, Triantaphyllou 2000) daugiakriterinius sprendimo priėmimo metodus skirsto į:

- diskrečiosios optimizacijos daugiatikslis sprendimo priėmimo metodus (MADM – *Multiple Attribute Decision Making*);
- tolydžios optimizacijos daugiatikslis sprendimo priėmimo metodus (MODM – *Multiple Objective Decision Making*).

Diskretieji (MADM) metodai taikomi, kai reikia išrinkti racionalią alternatyvą iš konkretaus žinomų alternatyvų sarašo (Hwang, Yoon 1981; Turskis 2008). MADM nagrinėja problemas, kurių sprendinių aibė yra diskreti (angl. *discrete*), t. y. ją sudaro aibė galimų alternatyvų.

Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai, kurie taiko vektorinę optimizaciją, pagrįstą sprendimo proceso modeliu, vadinami daugiatiksliais tolydžiosios optimizacijos daugiakriteriniais (MODM) metodais. Šie metodai taikomi sprendžiant problemą, apimančią daugelį tikslo funkcijų, kurios optimizuojamos vienu metu (Hwang, Yoon 1981). Išsamiai daugiakriterinio optimizavimo metodai nagrinėjami daugelio mokslininkų (Ehrgott 2005; Figueira *et al.* 2005; Petkus *et al.* 2009).

MADM ir MCDM sąvokos mokslinėje literatūroje yra suprantamos kaip sinonimai.

Paulyje sukurta nemažai daugiatikslių sprendimo metodų, bet kol kas nėra nustatyta, kuris labiausiai tinka spręsti vienokio ar kitokio tipo uždaviniams (Zavadskas *et al.* 2006; Antuchevicienė *et al.* 2011).

Tinkamo metodo parinkimas tam tikrai problemai pręsti yra svarbus uždavinys. Daugiatikslių metodų taikymo galimybės konkrečiam uždaviniui nagrinėjamos remiantis daugeliu požymių (Zavadskas, Kaklauskas 1996). Pasirenkant metodą tiriama:

- metodu išspręstų konkretaus pobūdžio uždavinių skaičius;
- vertinamų alternatyvų didžiausias galimas skaičius;
- didžiausias galimas rodiklių skaičius, kuriais apibūdinamos alternatyvos;
- informacija apie sprendimą priimančių specialistų nuomonę;
- gautų rezultatų patikimumo tyrimo galimybės;
- naujiems žmonėms apmokyti skirtas laikas;
- uždavinio sprendimo laikas.

Pagal pradinių duomenų, naudojamų alternatyvų rangavimui, tipą daugiatiksliai sprendimo priėmimo (MADM) metodai klasifikuojami į deterministinius,

stochastinius ir neapibrėžtų (angl. *fuzzy*) aibių teorijos metodus (Triantaphyllou 2000).

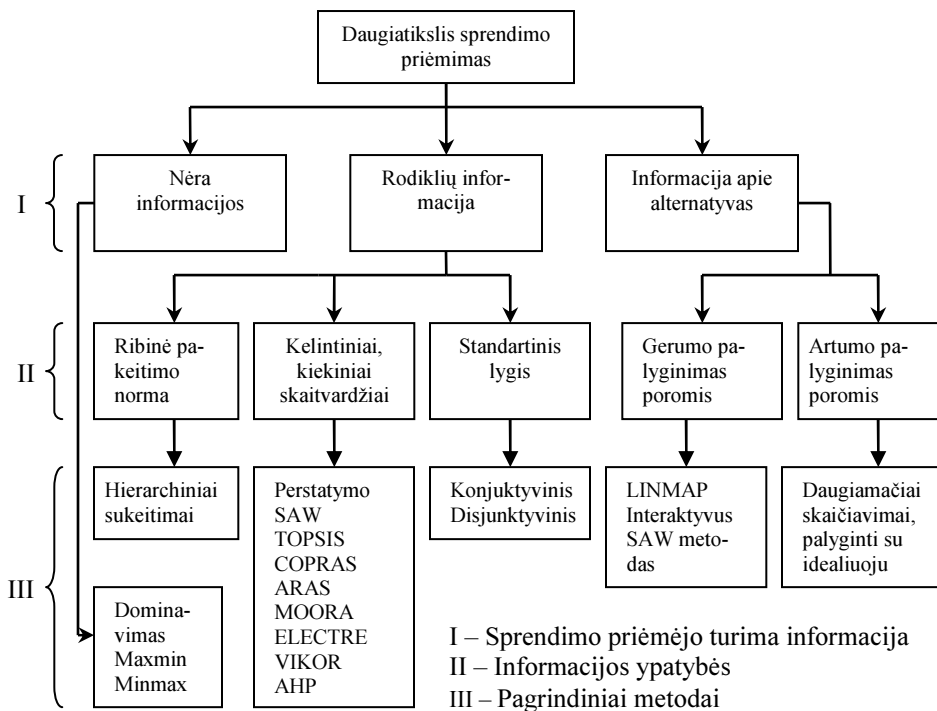
Daugiatikslius apsisprendimo metodus galima derinti su įvairių tipų duomenimis, kaip stochastinio ir neapibrėžtų aibių deriniais ir t. t.

Pagal priimančių asmenų kiekį, dalyvaujančių sprendimo priėmimo procese metodai (Triantaphyllou 2000) skirstomi į:

- vieno sprendimo priėmėjo;
- Grupinio sprendimo priėmėjo.

Mokslininkai Chen ir Hwang (1992) deterministinius vieno asmens MADM metodus dar skirsto į kategorijas pagal informacijos tipą ir jos prieinamumą.

Turskis (2009) pateikė daugiatislių vertinimo metodų klasifikavimą pagal sprendimo priėmėjo turimą informaciją ir informacijos ypatybes (2.1 pav.).



2.1 pav. Daugiatislių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija (Turskis 2009)

Fig. 2.1. Decision support methods classification (Turskis 2009)

Daugiatikslio vertinimo tikslas – visų nagrinėjamo reiškinio alternatyvų surangavimas (Ginevičius, Podvezko 2008).

Sprendimo priėmimo procesą sudaro keturi pagrindiniai etapai (Tzeng, Huang 2011):

1. Problemų identifikavimas (rodiklių atrinkimas).
2. Rodiklių svorių (reikšmingumų) nustatymas.
3. Alternatyvų (variantų) aprašymas (atrinkimas).
4. Geriausios alternatyvos nustatymas.

Daugiatikslio vertinimo metodai taikomi daugelyje sričių, tačiau daugiatikslio vertinimo sritis iki galo neišvystyta, o taikomi metodai nėra idealūs, todėl nei vienas iš daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų nėra geriausias, kuris galėtų būti taikomas visų problemų sprendimui.

Yra siūlomi keli būdai norint pasirinkti tinkamą daugiatikslių sprendimo priėmimo metodą konkrečioms problemoms spręsti. Guitouni ir Martel (1998) pasirenkant metodą pasiūlė kreipti dėmesį tik į svarbiausius daugiatikslio sprendimo priėmimo metodo procesus: duomenų įvestį, modeliavimo (sąsajų) ir skaičiavimo sudėtingumą, duomenų išvestį (Ishizaka, Nemery 2013).

2.3. Rodiklių reikšmingumo nustatymas

Skirtingų rodiklių, apibūdinančių tiriamąjį objektą, įtaka nagrinėjamam tikslui yra nevienoda, todėl, taikant kiekybinius ir kokybinius daugiatikslius vertinimus, labai svarbu nustatyti rodiklių reikšmingumą. Dažniausiai naudojamas yra subjektyvusis vertinimas – kai rodiklių reikšmingumus nustato specialistai – ekspertai. Nuo vertinimo metodo pasirinkimo priklauso reikšmingumų reikšmės ir jų tikslumas. Nepriklausomai nuo taikomo metodo vertinimo, prasmė yra vienoda: svarbiausias *i*-tasis rodiklis turės didžiausią svorį (Žukauskienė 2011).

AHP metodas pasižymi geru matematiniu pagrindu ir palyginti lengvai gaunami pradiniai duomenimis. AHP yra sprendimų priėmimo paramos įrankis, kuris gali būti naudojamas kompleksiniams daugiatiksliams uždaviniams spręsti. Šis metodas naudoja daugelio lygių hierarchinę kriterijų struktūrą. Reikalingi duomenys gaunami naudojant porinį palyginimą.

Porinio palyginimo metodika mažina šališkumą ir tendencingumą priimančiam sprendimui. Taikant AHP metodą, naudojamos santykinės reikšmės, todėl šį metodą galima taikyti esant įvairių dimensijų rodikliams.

Porinį palyginimą atlieka ekspertai, kurie turi ilgametę patirtį vertinamojoje srityje. Ekspertai lygina tarpusavyje visus vertinamus rodiklius, naudodamiesi porinio palyginimo skalės duomenimis (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Porinio palyginimo skalės žodiniai apibrėžimai (Saaty 1980)

Table 2.1. Comparative importance scale of criteria (Saaty 1980)

Įvertinimas	Žodinis apibrėžimas	Paaiškinimas
1	Lygus	Abu kriterijai yra vienodai svarbūs
3	Vidutinio stiprumo	Vieno kriterijaus svarbumas mažai skiriasi už kitą
5	Stiprus	Vienas kriterijus yra vidutiniškai svarbesnis už kitą
7	Labai stiprus	Vienas kriterijus daug svarbesnis už kitą
9	Aukščiausias laipsnis	Vienas kriterijus labai daug svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8 – tarpiniai įvertinimai, kai reikalingas kompromisas		

Lyginimo rezultatu tampa kvadratinė matrica B :

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.1)$$

čia b_{ij} – alternatyvos pranašumo rodiklis, $b_{ii} = 1$, $b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$.

Matricos X elementai traktuojami kaip rodiklių reikšmingumų santykiai:

$$b_{ij} = \frac{q_i}{q_j}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n} \quad (2.2)$$

Saaty (1980) įrodė, kad AHP metodo svoriai yra lyginimo matricos X tikrinio vektoriaus, atitinkančio didžiausią tikrinę reikšmę λ_{\max} , normalizuotos komponentės:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n b_{ij} \frac{q'_i}{q_j}, \quad (2.3)$$

čia λ_{\max} – didžiausia ekspertų lyginimo matricos X tikrinė reikšmė.

Taikant daugiatislių metodų vertinimus būtina akcentuoti ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį. Matricos neprieštarinamumui tikrinti Saaty *et al.* 1991 pasiūlė naudoti suderinamumo indeksą (angl. *consistency index*) – $C.I.$ ir atsitiktinumo indeksą (angl. *random index*) – $R.I.$ (2.2 lentelė) nustatant suderinamumo koeficientą (angl. *consistency ratio*) – $C.R.$

Taigi, kai matrica dauginama iš vektoriaus, suformuotas kiekvienas reikšmingumas $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$ ir gaunama matrica:

$$Bq = \begin{bmatrix} \frac{q_1}{q_1} & \frac{q_1}{q_2} & \dots & \frac{q_1}{q_j} & \dots & \frac{q_1}{q_n} \\ \frac{q_2}{q_1} & \frac{q_2}{q_2} & \dots & \frac{q_2}{q_j} & \dots & \frac{q_2}{q_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{q_i}{q_1} & \frac{q_i}{q_2} & \dots & \frac{q_i}{q_j} & \dots & \frac{q_i}{q_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{q_n}{q_1} & \frac{q_n}{q_2} & \dots & \frac{q_n}{q_j} & \dots & \frac{q_n}{q_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_j \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q'_1 \\ \vdots \\ q'_j \\ \vdots \\ q'_n \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

C.I. ir *C.R.* reikšmės apskaičiuojamos taip (Saaty *et al.* 1991):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (2.5)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}, \quad (2.6)$$

R.I. reikšmės nustatomos pagal matricos komponentų skaičių iš Saaty *et al.* (1991) pasiūlytos *R.I.* koeficientų 2.2 lentelės.

2.2 lentelė. Atsitiktinumo indekso reikšmės (Saaty *et al.* 1991)

Table 2.2. Values for random indexes (Saaty *et al.* 1991)

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>R.I.</i>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

Jei apskaičiuotas suderinamumo koeficientas $C.R. < 0,1$, matrica yra suderinama, priešingu atveju, jei $C.R. > 0,1$ matrica nesuderinama.

AHP metodas pastaruosiu metu plačiai taikomas moksliniuose darbuose (Kaya, Kahraman 2014; Keršulienė, Turskis 2014; Kildienė *et al.* 2014; Šiožinytė *et al.* 2014).

2.4. Disertacijos uždaviniais spręsti naudojami daugiatikslio vertinimo metodai

Jūros statinių uždaviniais spręsti buvo pasirinkti daugiatikslio vertinimo metodai, kuriuos taikant naudojama kiekybinė ir kokybinė informacija apie rodiklius.

Kadangi sprendžiami uždaviniai apima skirtingus objektus (išorinis giliau vandeniu uostas, suskystintų dujų terminalas, vėjo jėgainių parkai jūroje) buvo pasirinkti 7 metodai, kurie leido skirtingai įvertinti jūros statinius. Toliau darbe

aprašomi daugiatislių sprendimo priėmimo metodai. Darbe naudojami šie daugiatislio vertinimo metodai:

- variantų racionalumo nustatymas pagal artumą idealiajam taškui TOPSIS (Hwang, Yoon 1981);
- paprastasis adityvus svorių metodas SAW (MacCrimmon 1968);
- daugiatislio vertinimo metodas COPRAS (Zavadskas, Kaklauskas 1996);
- svorinės agreguotos sumos metodas – WASPAS (Zavadskas *et al.* 2012);
- galimų sprendimų variantų sutvarkymas pagal prioritetiškumą (Perstatymo metodas) (Paelnick 1976);
- neraiškūs adityvinis kriterijų santykių įvertinimo metodas ARAS-F (Zavadskas, Turskis 2010);
- neapibrėžtų aišių daugiatislės optimizacijos santykių analizės metodas Fuzzy MOORA (Karande, Chakraborty 2012).

2.4.1. TOPSIS metodas

Hwang ir Yoon (1981) sukūrė variantų prioritetų nustatymo metodą (TOPSIS), kuris pagrįstas principu, kad pasirinkta geriausia alternatyva turi turėti mažiausią atstumą nuo idealaus sprendinio ir didžiausią atstumą nuo idealiai blogiausio sprendinio. TOPSIS metodas buvo taikytas įvairių uždavinių sprendimui (Kalibatas *et al.* 2011; Baležentis *et al.* 2012; Chen 2012; Yusuf 2012; Simanavicienė *et al.* 2012; Staniūnas *et al.* 2013).

TOPSIS metodu daugiatislio optimizavimo uždaviniai yra sprendžiami tokiomis etapais:

1. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica X :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

čia x_{ij} – sprendimo alternatyvos j rodiklio i reikšmė; $i = 1, 2, \dots, m$ alternatyvų skaičius, $j = 1, 2, \dots, n$ rodiklių skaičius.

2. Normalizuojamos kiekybinės rodiklių reikšmės, norint gauti bedimensines palyginamąsias vertes:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = \overline{1, n}. \quad (2.8)$$

3. Apskaičiuojamos svertinės normalizuotos rodiklių reikšmės:

$$v_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (2.9)$$

čia q_j rodiklių reikšmingumai.

4. Nustatoma idealiai geriausia ir idealiai blogiausia alternatyva:

$$a^+ = \{[\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J')]/ i = \overline{1, m}\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+\}, \quad (2.10)$$

$$a^- = \{[\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J')]/ i = \overline{1, m}\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-\} \quad (2.11)$$

čia: a^+ – idealiai geriausia alternatyva, a^- – idealiai blogiausia alternatyva, J – aibė rodiklių, kurių geriausios reikšmės – didžiausios, J' – aibė rodiklių, kurių geriausios reikšmės – mažiausios.

5. Apskaičiuojami atstumai tarp lyginamųjų ir idealiai geriausios bei idealiai blogiausios alternatyvos:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = \overline{1, m}, \quad (2.12)$$

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = \overline{1, m}. \quad (2.13)$$

6. Nustatomas sąlyginis lyginamųjų variantų artumas iki idealaus:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1, m}, \quad (2.14)$$

čia $K_i \in [0, 1]$.

Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo alternatyva geresnė.

2.4.2. SAW metodas

SAW (Simple Additive Weighting) metodas – tai geriausiai žinomas, vienas iš paprasčiausių ir plačiausiai naudojamas daugiatis sprendimo priėmimo meto-

das. Metodo taisyklės apibendrinio MacCrimmon (1968). Metodą optimizavimo uždaviniams spręsti naudojo daugelis autorių (Hwang, Yoon 1981; Chu *et al.* 2007; Sivilevičius *et al.* 2008).

Įvesties duomenys taikant šį metodą yra sprendimų matrica X (2.7 formulė) (sprendimų matrica negali turėti neskaitinių reikšmių) ir kiekvieno efektyvumo rodiklio q_i reikšmingumai.

SAW metodo žingsniai:

1. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica.

2. Sprendimų priėmimo matrica yra normalizuojama:

visi sprendimo matricos X (2.7 formulė) nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}, \quad (2.15)$$

o jei norima minimizuoti:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}. \quad (2.16)$$

Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotosios matricos nariai dauginami iš efektyvumo rodiklių reikšmingumo ir gautos sandaugos susumuojamos. Racionalaus varianto sandaugų suma bus maksimali:

$$A = \left\{ A_i \left| \max_i \sum_{j=1}^n q_j \bar{x}_{ij} \right. \right\}. \quad (2.17)$$

2.4.3. COPRAS metodas

1996 metais sukurtas metodas COPRAS (kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas) (Zavadskas, Kaklauskas 1996). COPRAS metodas leidžia palyginti alternatyvas taikant kiekybinius ir kokybinius rodiklius. Uždavinių sprendimo algoritmą sudaro šie etapai:

1 etapas: Sudaroma sprendimų priėmimo matrica (taikoma 2.1 formulė).

2 etapas. Sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų matrica. Tam taikoma tokia formulė:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.18)$$

čia x_{ij} – sprendimo alternatyvos j rodiklio i reikšmė; q_i – i rodiklio reikšmingumas.

3 etapas. Apskaičiuojamos i alternatyvą apibūdinančių minimizuojančių S_{-i} ir maksimizuojančių S_{+i} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal formules:

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^m \tilde{x}_{+ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.19)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^m \tilde{x}_{-ij}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.20)$$

4 etapas. Alternatyvų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) Q_i nustatomas pagal formulę:

$$Q_i = S_{-i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^n S_{-i}}{S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.21)$$

5 etapas. Nustatomas projektų prioritetas. Kuo didesnis Q_i , tuo didesnis projekto efektyvumas.

Išanalizavus anksčiau pateiktą metodą, galima daryti išvadą, kad pagal šį metodą gana paprasta įvertinti, paskui išrinkti racionaliausias alternatyvas, aiškiai matant fizinę šio proceso prasmę. Analizuojant šio metodo taikymo galimybes, buvo apžvelgti statybos srityje atlikti moksliniai darbai naudojant COPRAS metodą (Zavadskas, Antuchevicienė 2007; Zavadskas *et al.* 2008; Kaklauskas *et al.* 2010; Chatterjee *et al.* 2011; Kildienė *et al.* 2011; Podvezko 2011; Palevičius *et al.* 2013).

2.4.4. WASPAS metodas

WASPAS metodas sukurtas iš dviejų gerai žinomų MCDM metodų: WSM (weighted sum model) ir WPM (weighted product model). WASPAS metodu skaičiavimo žingsniai.

1 žingsnis. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica (taikoma 2.7 formulė).

2. žingsnis. Sprendimų priėmimo matrica normalizuojama:

visi sprendimo priėmimo matricos X nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}, \quad (2.22)$$

o jei norima minimizuoti:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}, \quad (2.23)$$

3 žingsnis WASPAS metodas remiasi dviem optimalumo kriterijais. Pirmasis optimalumo kriterijus skaičiuojamas pagal gerai žinomą MCDM metodą WSM (MacCrimon, 1968):

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} q_j, \quad (2.24)$$

čia q_j rodiklių reikšmingumas.

Antrasis optimalumo kriterijus skaičiuojamas pagal MCDM metodą WPM (Miller, Starr 1969; Triantaphyllou, Mann 1989).

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{q_j}, \quad (2.25)$$

4 žingsnis. Suteikiamas vienodas svoris abiem optimalumo kriterijams:

$$Q_i = 0,5Q_i^{(1)} + 0,5Q_i^{(2)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} q_j + \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{q_j}. \quad (2.26)$$

5 žingsnis. Siekiant padidinti skaičiavimo tikslumą ir efektyvumą WASPAS metodas papildomas λ koeficientu:

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} q_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{q_j}, \quad (2.27)$$

$$\lambda = 0; 0,1; 0,2 \dots 1,0.$$

6 žingsnis. Nustatomas projektų prioritetiškumas. Kuo didesnis Q_i , tuo didesnis alternatyvos efektyvumas (prioritetiškumas).

Kai vertė yra 0, WASPAS metodas virsta WPM, ir kai yra 1, jis tampa WSM metodu.

Analizuojant šio metodo taikymo galimybes, buvo apžvelgti statybos srityje atlikti moksliniai darbai naudojant WASPAS metodą: Šaparauskas *et al.* 2011; Zavadskas *et al.* 2012; Zavadskas *et al.* 2013a; Hashemkhani-Zolfani *et al.* 2013; Staniūnas *et al.* 2013; Šiožinytė, Antuchevičienė 2013; Chakraborty, Zavadskas 2014.

2.4.5. Perstatymo metodas

Perstatymo metodo esmė – visų variantų pertvarkymai tarpusavyje lyginami ir tikrinami pagal prioritetus. Metodą sukūrė Paelnick (1976). Jis gali būti naudojamas turint kiekybinius ir kokybinius rodiklius.

Metodo algoritmas:

Pirmiausia sudaroma sprendimo priėmimo matrica:

$$X = [x_{ij}]_{[m \times n]}. \quad (2.28)$$

Taikant šį metodą būtina turėti rodiklių reikšmingumo koeficientus.

Sprendimo tikslas – iš m alternatyvų išrinkti geriausią – nustatyti prioritetiškumo ryšius variantų aibėje arba rasti tokią alternatyvų taikymo prioritetų eilę, kuri atitiktų pasirinktą vertybių sistemą. Tarkime, kad iš viso yra trys variantai: a_1, a_2, a_3 , tada egzistuoja šeši pertvarkymai $m! = 3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= a_1 \succ a_2 \succ a_3, \quad \pi_2 = a_1 \succ a_3 \succ a_2, \\ \pi_3 &= a_2 \succ a_1 \succ a_3, \quad \pi_4 = a_2 \succ a_3 \succ a_1, \\ \pi_5 &= a_3 \succ a_1 \succ a_2, \quad \pi_6 = a_3 \succ a_2 \succ a_1. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Tarkime, kad tikrinama variantų eilė yra $\pi_2 = \{a_1, a_3, a_2\}$. Tada dalinės suderintos tvarkos aibė yra $\{a_1 \geq a_3; a_1 \geq a_2; a_3 \geq a_2\}$, o nesutikimo aibė – $\{a_1 \leq a_3; a_1 \leq a_2; a_3 \leq a_2\}$.

Jeigu alternatyvų perstatymas tenkina sąlygą $a_k \geq a_l$, tai reiškia, kad $a_{kj} \geq a_{lj}$ vertinamas rodikliu q_j , o kai $a_{kj} \leq a_{lj}$ – rodikliu q_n . Alternatyvų perstatymai $\beta_g (g=1, 2, \dots, n!)$ vertinami taip: perstatymo $\pi_g = \{\dots, a_k, \dots, a_l, \dots\}$, ($g=1, 2, \dots, m!$), čia $a_k > a_l$, tada šio pertvarkymo įvertinimas β_g :

$$\beta_g = \sum_{k,l=1}^m \sum_{j \in C_{kl}} q_j - \sum_{k,l=1}^m \sum_{j \in H_{kl}} q_j, \quad g = \overline{1, m!}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.30)$$

čia $C_{kl} = \{j \mid x_{kj} \geq x_{lj}\}$, $k, l = \overline{1, m!}$, $k \neq l$, $H_{kl} = \{j \mid x_{kj} < x_{lj}\}$, $k, l = \overline{1, m!}$, $k \neq l$.

Geriausias (labiausiai suderintas) pertvarkymas tas, kurio β_g reikšmė gauta didžiausia.

Šį metodą statybos problemoms spręsti taikė: Zavadskas *et al.* 1994; Turskis (2008); Zavadskas *et al.* 2011; Kildienė *et al.* 2014.

2.4.6. Neapibrėžtų aibių teorija

„Fuzzy“ skaičių ir loginių kintamųjų koncepcija leidžia įvertinti objektyvius ir vsubjectyviuos kriterijus be jokių apribojimų. Neapibrėžtų aibių teorijos šaknys slypi senovės graikų filosofijoje. Neraiškių aibių teorijos pradininku laikomas L. A. Zadeh, kuris pirmasis 1965 m. aprašė tos teorijos pagrindus.

Neapibrėžtų aibių teorijos metodo privalumai:

- nėra jokio sprendimo priėmimo kriterijų limitų, nes kriterijų skaičius nežymiai įtakoja sprendimo priėmimo sudėtingumą;
- yra platus kasdien naudojamų žodžių, kurie naudojami išreikšti kriterijaus reikšmingumui skirtingoms alternatyvoms, pasirinkimas;
- galimas grupinis alternatyvų vertinimas.

Neapibrėžtųjų aibių teorija skirta matematiškai aprašyti ir valdyti neapibrėžtus elementus. Atsakyti į klausimą – priklauso elementas neapibrėžtai aibei ar ne – nepakanka laipsniško sprendimo nustatant jo priklausomumą.

Neapibrėžtų aibių teorijoje nėra aiškos ribos tarp elementų priklausomumo (reikšmė 1) ir nepriklausomumo (reikšmė 0) apibrėžtajai aibei, kuri būdinga klasikiniams aibės supratimui. Elemento x priklausomumą aibei C galime apibrėžti reikšmėmis, kurios yra tarp 0 ir 1. Elemento x priklausomumo laipsnis aibe A neapibrėžtosiose aibėse aprašomas priklausomumo funkcija $\mu_A(x)$, kuri suteikia elementui x priklausomumo reikšmes intervalu nuo 0 iki 1 (Zimmermann, Angstenberger 1993):

$$C = \{(x, \mu_C(x)), x \in X\}, \quad (2.31)$$

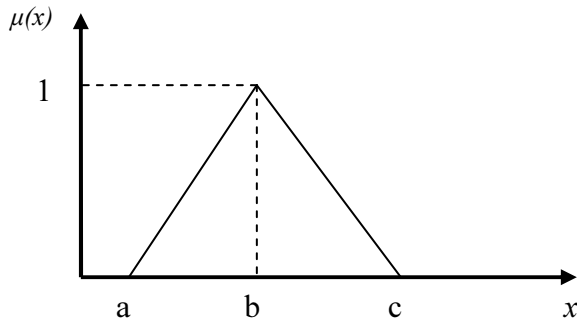
čia $\mu_A(x)$ elemento x priklausomumo neapibrėžtai aibei C reikšmė.

Paprastai A reikšmių sritis apribota uždarajame intervale $[0;1]$. Kai kuriais atvejais intervalas gali būti ir kitoks. Alternatyvų erdvės subjektyvus dalijimas į klases vyksta pasirenkant tris taškus (a, b, c). Elementų priklausomumo reikšmės randamos pagal lygčių sistemą:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}. \quad (2.32)$$

Tipinė funkcinė priklausomybė pavaizduota 2.2 paveiksle.

Neapibrėžtų aibių teorija, taikant kartu su MCDM metodais, plačiai naudojama įvairiuose mokslinių tyrimų srityse (Kahraman 2008; Kahraman, Kaya 2010; Torlak *et al.* 2011; Balezentienė, Kusta 2012; Balezentienė, Užupis 2012; Miodragović *et al.* 2012).



2.2 pav. Trikampė funkcinė priklausomybė
Fig. 2.2. A triangular fuzzy membership function

2.4.7. ARAS-F metodas

Daugiatiksliai sprendimų priėmimo metodai taikomi daugelyje žmogaus veiklos sričių. Kiekviena alternatyva, sprendžiant tokius uždavinius, gali būti apibūdinta rodiklių aibe. Rodikliai gali būti kokybiniai ir kiekybiniai. Pateikiamas adityvinis kriterijų santykių įvertinimo metodas (ARAS-F) daugiatiksliams sprendimų priėmimo uždaviniams spręsti. Metodas sukurtas 2010 metais (Zavadskas, Turskis 2010). Optimizavimo uždavinius ARAS-F metodu sprendė Tupėnaitė *et al.* 2010; Keršulienė, Turskis; 2011, Sušinskas *et al.* 2011).

Pateikiamas uždavinio skaičiavimo eiliškumas:

Pirmas žingsnis – sudaroma sprendimų priėmimo matrica:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{01} & \cdots & \tilde{x}_{0j} & \cdots & \tilde{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mj} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.33)$$

čia m alternatyvų skaičius; n rodiklių skaičius; \tilde{x}_{ij} – sprendimo alternatyvos j rodiklio i reikšmė; \tilde{x}_{0j} – kriterijaus j optimali vertė. Ženkliukas ‘ \sim ’ virš ženklų simbolizuoja neraiškiosios logikos reikšmes.

Paprastai, sudarant pradinę duomenų matricą labiausiai lemia ekspertai. Informacija koreguojama sprendimų priėmėjo, atsižvelgiant į uždavinio tikslus ir sprendimo galimybes.

Antras žingsnis – matrica normalizuojama:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{01} & \cdots & \tilde{x}_{0j} & \cdots & \tilde{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.34)$$

Kriterijai, kurie yra maksimizuojami, normalizuojami pagal formulę:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}}, \quad (2.35)$$

kriterijai, kurie yra minimizuojami, normalizuojami:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{\tilde{x}_{ij}^*}, \quad \tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}}. \quad (2.36)$$

Trečias žingsnis – apskaičiuojamos svartinės normalizuotos rodiklių reikšmės – \tilde{X} .

$$\tilde{x}_{ij} = \tilde{x}_{ij} q_j \quad i = \overline{0, m}, \quad (2.37)$$

čia q_j – rodiklių reikšmingumai.

Sudaroma Svartinė normalizuota rodiklių reikšmių matrica:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{01} & \cdots & \tilde{x}_{0j} & \cdots & \tilde{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mj} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad i = \overline{0, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.38)$$

Ketvirtas žingsnis – nustatomos optimalumo funkcijos reikšmės:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij}, \quad i = \overline{0, m}, \quad (2.39)$$

čia: \tilde{S}_i – i -tosios alternatyvos optimalumo funkcija.

Didžiausia \tilde{S}_i vertė yra geriausia, o mažiausia reikšmė – blogiausia.

Kadangi naudojamos neraiškiosios logikos skaičių reikšmės, tai optimalumo funkcijos reikšmės \tilde{S}_i yra nežinomos. Yra keletas metodų tai pakeisti. Labai paprasta ir praktiška taikyti šią formulę:

$$S_i = \frac{1}{3}(S_a + S_b + S_c). \quad (2.40)$$

Penktas žingsnis. Nustatomas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}, \quad i = \overline{0, m}, \quad (2.41)$$

čia S_i ir S_0 yra optimalių kriterijų vertės.

Akivaizdu, kad apskaičiuotos reikšmės yra intervale $[0, 1]$. Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo alternatyva geresnė.

2.4.8. Fuzzy MOORA metodas

MOORA metodas (Brauers, Zavadskas 2006) sėkmingai buvo pritaikytas spręsti įvairius optimizavimo uždavinius. Daugiatikslio MOORA metodo taikymas apima plačią problemų vertinimo ir sprendimo priėmimo skalę įvairiose ekonomikos, aplinkos, socialinėse, fizikos srityse (Brauers *et al.* 2008a; Brauers *et al.* 2008b; Kalibatas, Turskis 2008; Chakraborty 2010; Kracka *et al.* 2010; Gadakh 2011, Brauers, Zavadskas 2013). Papildžius MOORA metodą neapibrėžtų aibių teorija ir rodiklių reikšmingumais buvo sukurtas naujas fuzzy MOORA metodas (Karande, Chakraborty 2012; Mandal, Sarkar 2012; Seema *et al.* 2014). Metodas susideda iš šešių etapų.

1 etapas. Sudaroma pradinė „fuzzy“ skaičiuojamoji matrica naudojant trikampio funkciją (funkcija pateikta 2.4.6 poskyryje, 2.2 paveiksle):

$$X = \begin{bmatrix} [x_{11}^a, x_{11}^b, x_{11}^c] & [x_{12}^a, x_{12}^b, x_{12}^c] & \dots & [x_{1n}^a, x_{1n}^b, x_{1n}^c] \\ [x_{21}^a, x_{21}^b, x_{21}^c] & [x_{22}^a, x_{22}^b, x_{22}^c] & \dots & [x_{2n}^a, x_{2n}^b, x_{2n}^c] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ [x_{m1}^a, x_{m1}^b, x_{m1}^c] & [x_{m2}^a, x_{m2}^b, x_{m2}^c] & \dots & [x_{mn}^a, x_{mn}^b, x_{mn}^c] \end{bmatrix}, \quad (2.42)$$

čia x_{ij}^a, x_{ij}^b ir x_{ij}^c sprendimo alternatyvos j rodiklio i reikšmė, atitinkamai yra mažiausia, vidurinė ir aukščiausia trikampio funkcijos vertės, m alternatyvų skaičius; $i = 1, 2, \dots, n$ rodiklių skaičius.

2 etapas. Išėities duomenys yra normalizuojami, naudojant formules:

$$r_{ij}^a = \frac{x_{ij}^a}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \left[(x_{ij}^a)^2 + (x_{ij}^b)^2 + (x_{ij}^c)^2 \right]}}, \quad (2.43)$$

$$r_{ij}^b = \frac{x_{ij}^b}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \left[(x_{ij}^a)^2 + (x_{ij}^b)^2 + (x_{ij}^c)^2 \right]}}, \quad (2.44)$$

$$r_{ij}^c = \frac{x_{ij}^c}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \left[(x_{ij}^a)^2 + (x_{ij}^b)^2 + (x_{ij}^c)^2 \right]}}. \quad (2.45)$$

3 etapas. Normalizuota matrica padauginama iš rodiklių svorio reikšmingumo:

$$v_{ij}^a = q_j r_{ij}^a, \quad v_{ij}^b = q_j r_{ij}^b, \quad v_{ij}^c = q_j r_{ij}^c, \quad (2.46)$$

čia q_j rodiklių reikšmingumas.

4 etapas. Rodikliai yra sudedami jei reikšmė yra maksimizuojama arba atimami jei reikšmė yra minimizuojama:

$$s_i^{+a} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^a \Big|_{j \in J^{\max}}, \quad s_i^{+b} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^b \Big|_{j \in J^{\max}}, \quad s_i^{+c} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^c \Big|_{j \in J^{\max}}, \quad (2.47)$$

$$s_i^{-a} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^a \Big|_{j \in J^{\min}}, \quad s_i^{-b} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^b \Big|_{j \in J^{\min}}, \quad s_i^{-c} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^c \Big|_{j \in J^{\min}}. \quad (2.48)$$

5 etapas. Nustatomas kiekvienos alternatyvos bendras kokybės indeksas (S_i):

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(s_i^{+a} - s_i^{-a})^2 + (s_i^{+b} - s_i^{-b})^2 + (s_i^{+c} - s_i^{-c})^2 \right]}. \quad (2.49)$$

6 etapas. Gautieji kokybės indeksai yra išdėstyti mažėjančia tvarka nuo geriausio iki blogiausio. Alternatyva, turinti didžiausią kokybės indeksą, yra geriausia.

2.5. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų, naudojamų uždaviniams spręsti, apibendrinimas

Daugiatikslių sprendimo priėmimo problemoms spręsti galima pasirinkti ne vieną sprendimo priėmimo metodą. Tuomet kyla klausimas: kurį ir kaip išsirinkti, kad sprendimo priėmimo rezultatas būtų patikimas ir leistų tinkamai įvertinti gautuosius duomenis (Antuchevicienė *et al.* 2011; Zavadskas, Vilutienė 2006).

Daugiakriterinės analizės sritis iki galo neišvystyta ir naudojami metodai nėra tobuli. Neįmanoma nustatyti geriausio metodo konkrečioms problemoms spręsti metodai gali būti tinkami arba ne (Triantaphyllou 2000).

Mokslininkai daro išvadas, jog daugiatiksliai sprendimų priėmimo metodai tėra tik įrankis, kurio pagalba galutinį sprendimą priima žmogus ar keletas žmonių. Daugiatiksliai sprendimų priėmimo metodai padeda susisteminti ir matematiškai apdoroti turimą informaciją. Neturėdami pakankamai žinių ar patirties nagrinėjamoje mokslo srityje ir turėdami nuostatas, ekspertai priimdami sprendimus kai kuriais atvejais tam tikrus dalykus ypač sureikšmina, o kai kuriuos visai nuvertina (Zavadskas *et al.* 2010).

Kadangi disertacijoje nagrinėjami uždaviniai yra skirtingo tipo bei skirtingų duomenų kiekio rodikliams nustatyti, buvo nuspręsta naudoti skirtingus daugiatikslius sprendimų priėmimo metodus, kurie, geriausiai tiktų apdoroti informaciją ir duotų geriausią rezultatą konkrečiu atveju.

2.6. Antrojo skyriaus išvados

1. Sprendžiant sudėtingus uždavinius ir siekiant gauti efektyvų ir pagrįstą sprendimą, būtina tiksliai suformuluoti uždavinio tikslus, surinkti juos apibūdinančių efektyviausių rodiklių visumą, nustatyti ir įvertinti rodiklius ir pritaikyti moksliškai pagrįstus galimų variantų prioriteto nustatymo metodus.

2. Daugiatikslių sprendimų metodų analizės rezultatai parodė, kad metodai skiriasi pagal galimų vertinamų alternatyvų ir rodiklių skaičių, rodiklių reikšmingumo įvertinimą, gautų rezultatų patikimumą, duomenų pateikimo formą ir t. t. Idėjos ir alternatyvos turi būti vertinamos, reitinguojamos, išrenkamos geriausios ir efektyviausios. Sprendimų priėmėjams reikia įvertinti sprendimus pagal daugelį aspektų. Kadangi vertinant jūros statinius keliama daug tikslų (skirtingiems uždaviniams) iš daugiatikslio vertinimo metodų išskiriami tinkamiausi tradiciniai daugiatikslio vertinimo (SAW, TOPSIS, COPRAS, ARAS-F, WASPAS, Fuzzy MOORA, Perstatymo) metodai.

3. Daugiatikslio metodo parinkimas uždaviniui spręsti priklauso nuo nagrinėjamos problemos pobūdžio, turimos informacijos. Sprendžiant sudėtingus uždavinius, reikia įvertinti kiekybinių ir kokybinių rodiklių visumą, suderinti skirtingus suinteresuotų grupių tikslus. Tokius uždavinius tikslinga spręsti skirtingais daugiatikslio vertinimo metodais, visapusiškai analizuojančiais konkrečią problemą.
4. Siekiant sėkmingai spręsti jūros statinių vertinimo uždavinius tikslinga ieškoti naujų sprendimo būdų arba daugiatikslio sprendimo metodų derinių, kurie racionaliausiai įvertintų nagrinėjamus jūros statinius.

Jūros statinių kompleksinis vertinimas

Trečiame skyriuje aprašomi pritaikyti daugiatisliai sprendimo priėmimo modeliai jūros statiniams. Skyriuje yra pateikti penki skirtingi šia tematika spęsti uždaviniai.

Pirmame uždavinyje daugiatisliais sprendimo priėmimo metodais vertinamas galimas giliavandenis uostas Klaipėdoje. Vertinamos skirtingos alternatyvos (Melnragė) statybos vietai parinkti.

Antrame uždavinyje vertinamas opus Lietuvai klausimas – suskystintų dujų terminalo vietos parinkimas. Vietos parinkimas vertinamas tvarios darnos principu – vertinami socialiniai, aplinkos, ekonominiai ir techniniai rodikliai. Vertinimas atliekamas pasitelkus tris metodus – TOPSIS, COPRAS ir SAW.

Trečias, ketvirtas ir penktas uždavinys – vėjo jėgainių statybos Baltijos jūroje ties Lietuvos pakrante tematika.

Trečiame uždavinyje vertinamos vėjo jėgainės, kurios buvo pasiūlytos statyti Lietuvai priklausančiame Baltijos jūros ruože. Kadangi yra tik penkios galimos vietos statyti vėjo jėgaines, tai nustatoma kiekvienai vietai tinkamiausia vėjo jėgainė.

Ketvirtas uždavinys skirtas nustatyti vėjo jėgainių parkų ties Lietuvos krantais statybos eiliškumą. Pagal anksčiau atliktus tyrimus, buvo nustatyti tik 5 ga-

limi vėjo jėgainių parkai, šiame uždavinyje nustatinėjamas ekonomiškai naudingas šių parkų statybos eiliškumas.

Penktame uždavinyje vertinami vėjo jėgainių pamatai, kurie gali būti įrengti visuose penkiuose jūros vėjo jėgainių parkuose, Baltijos jūros pakrantėje, ties Lietuvos krantais. Kadangi vėjo jėgainių parkų vietų techniniai parametrai panašūs, nustatinėjamas vienas pamato tipas visiems penkiems parkams.

Skyriuje nagrinėjama tema autorius kartu su bendraautoriais paskelbęs penkias publikacijas: (Bagočius *et al.* 2013; Bagočius *et al.* 2014a; Bagočius *et al.* 2014b, Bagočius *et al.* 2014c, Zavadskas *et al.* 2015)

3.1. Rodiklių reikšmingumų nustatymas AHP metodu

Skirtingų rodiklių, apibūdinančių tiriamąjį objektą, įtaka nagrinėjamam tikslui yra nevienoda, todėl taikant kiekybinius ir kokybinius daugiatislius sprendimų vertinimus labai svarbu nustatyti rodiklių reikšmingumą.

Daugumai uždavinių spręsti (3.2, 3.4–3.6 poskyryje sprendžiami uždaviniai) taikomas porinio palyginimo metodas AHP svoriams nustatyti. Kadangi metodika visiems svoriams yra vienoda, pateiktas tik vieno (3.2 poskyris) uždavinio svorių nustatymas. Likusių uždavinių svorių nustatymas pateiktas A priede.

Giliavandens uosto tipui parinkti, rodiklių reikšmingumams nustatyti buvo sudaryta septynių ekspertų komanda, kuriai buvo pateikti rodikliai (3.1 lentelė) apibūdinantys busimą giliavandenį uostą. Ekspertai lygino tarpusavyje visus vertinamus rodiklius ir porinio lyginimo metodu nustato, kuris iš dviejų lyginamų rodiklių yra svarbesnis. Vertinimas atliktas pasitelkus 2.1.1 poskyryje esančią 2.1 lentelę.

3.1. lentelė. Kriterijai, apibūdinantys giliavandenį uostą

Table 3.1. A set of criteria for alternatives assessment

Nr.	Kriterijai	Mato vnt.	Optimizavimo kryptis
x_1	Krovininių vagonų privažiavimas prie terminalų išoriniame uoste	balai	max
x_2	Automobilių transporto privažiavimas prie terminalų	balai	max
x_3	Patrauklumas su uosto veikla susijusioms pramonės šakoms	balai	max
x_4	Žemės naudojimo efektyvumas	10^4 m^2	max
x_5	Natūralių smėlio paplūdimių išsaugojimas	balai	max
x_6	Privažiuojamojo geležinkelio linijos poveikis šalia išorinio uosto esančioms gyvenamosioms teritorijoms	balai	max

3.1 lentelės tęsinys

x_7	Statybos kaina	10^6€	min
x_8	Tolesnės plėtos lengvumas	balai	max
x_9	Patogus priplaukimas prie jūrinių terminalų atvykstantiems laivams	balai	max
x_{10}	Gebėjimas konkuruoti su kitais Baltijos jūros uostais	balai	max
x_{11}	Sandėliavimo pajėgumai	103 t	max
x_{12}	Dokų veiklos efektyvumas	balai	max

Pagal pateiktus 3.1 lentelės duomenis atliekamas porinis rodiklių palyginimas. Pateikiamas pirmojo eksperto porinis palyginimas. Apskaičiavus 1 eksperto pateiktus porinio palyginimo rezultatus ir gavus rodiklių reikšmingumus, tikrinama, ar eksperto nuomonė yra suderinama. Nustatomas suderinamumo laipsnis naudodant 2.1.1 poskyryje pateiktas (2.4–2.6) formules:

$$Xq = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/2 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1/2 & 1/7 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/2 & 1 & 1/4 & 1/3 \\ 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1 & 5 & 1 & 2 & 1 & 4 \\ 5 & 5 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 4 & 1 & 3 & 4 & 7 \\ 3 & 5 & 3 & 3 & 1 & 1 & 1/2 & 3 & 1 & 3 & 2 & 5 \\ 5 & 7 & 5 & 1 & 2 & 2 & 1 & 5 & 3 & 3 & 3 & 7 \\ 2 & 2 & 1 & 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/2 & 1 & 1/4 & 1/2 \\ 1 & 7 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1/3 & 2 & 1 & 3 & 1 & 3 \\ 1/2 & 2 & 1 & 1/2 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 1 & 1/4 & 1/2 & 1/3 & 4 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 3 & 3 & 1/4 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 2 & 1/3 & 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,048 \\ 0,030 \\ 0,028 \\ 0,100 \\ 0,158 \\ 0,138 \\ 0,205 \\ 0,037 \\ 0,097 \\ 0,044 \\ 0,080 \\ 0,036 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,641 \\ 0,429 \\ 0,371 \\ 1,359 \\ 2,031 \\ 1,754 \\ 2,584 \\ 0,498 \\ 1,269 \\ 0,554 \\ 1,018 \\ 0,494 \end{bmatrix},$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{12} \left(\frac{0,641}{0,048} + \frac{0,429}{0,030} + \frac{0,371}{0,028} + \dots + \frac{0,554}{0,044} + \frac{1,018}{0,080} + \frac{0,494}{0,036} \right) = 13,193$$

$$\text{C.I.} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{13,194 - 12}{12 - 1} = 0,109,$$

$$\text{C.R.} = \frac{\text{C.I.}}{\text{R.I.}} = \frac{0,109}{1,48} = 0,073.$$

Apskaičiuotas suderinamumo koeficientas $\text{C.R.} < 0,1$, taigi matrica yra suderinama.

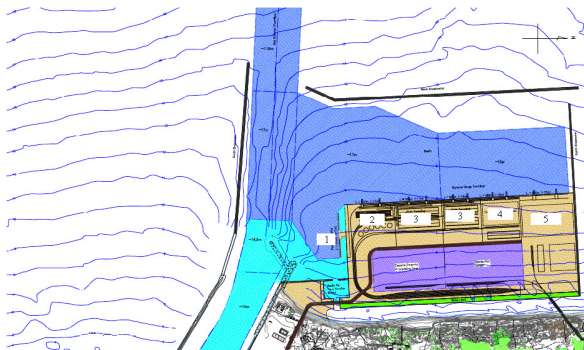
Tokia pačia tvarka tikrinamas ir kitų ekspertų nuomonių suderinamumas. Atlikus visų ekspertų porinio palyginimo suderinamumo patikrinimą, nustatomas bendras ekspertų rodiklių reikšmingumas.

Kitų uždavinių 93.4–3.6 poskyryje sprendžiami uždaviniai) rodiklių reikšmingumai nustatomi pagal tą pačią metodiką

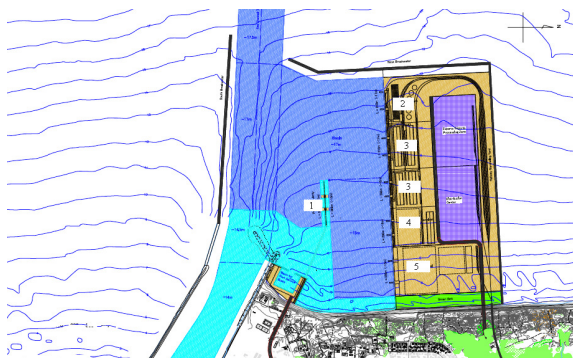
3.2. Giliavandenio (avant) uosto Klaipėdoje ties Melnrage tipo parinkimas ARAS-F metodu

Augantys uosto krovinių srautai, intensyvėjanti laivyba, didėjantis atplaukiančių laivų skaičius ir tonažas, jau dabar verčia svarstyti ir realizuoti tolesnės uosto plėtros planus. Klaipėdos uosto metiniai pajėgumai naujausiais skaičiavimais siekia 51,1 mln.t. 2012 metais buvo prognozuota, kad 2015–2020 m laikotarpyje, esamos uosto galimybės bus visiškai išnaudotos. Dėl šiuo metu susiklosčiusios geopolitinės situacijos Europoje, šios prognozės pavėlintos penkmečiu, iki 2020–2025 metų. Tam, kad būtų galima susidoroti su pajėgumų trūkumais apie 2025 metus ir patenkinti laivybos poreikius priimti BALTMAX tipo laivus, uostas turėtų būti plečiamas už dabartinės teritorijos ribų.

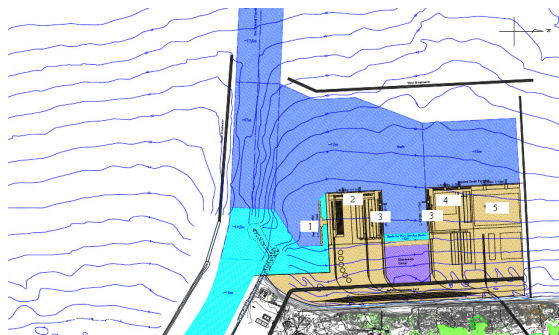
Siekiant laiku spręsti Klaipėdos uosto plėtros uždavinius, Japonijos tarptautinio bendradarbiavimo agentūra (JICA 2004) atliko „Klaipėdos uosto plėtros galimybių studiją“ ir pasiūlė 4 alternatyvas (3.1–3.4 pav.) išoriniam uostui Klaipėdoje (ties Melnrage) statyti.



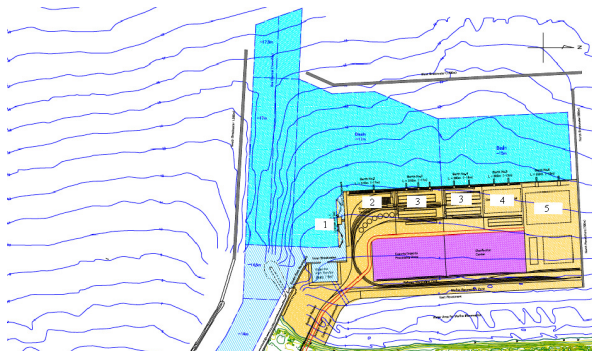
3.1 pav. Giliavandenio uosto pirmoji alternatyva (JICA 2004)
Fig. 3.1. Deep Water Port I Alternative (JICA 2004)



3.2 pav. Giliavandensio uosto antroji alternatyva (JICA 2004)
Fig. 3.2. Deep Water Port II Alternative (JICA 2004)



3.3 pav. Giliavandensio uosto trečioji alternatyva (JICA 2004)
Fig. 3.3. Deep Water Port III Alternative (JICA 2004)



3.4 pav. Giliavandensio uosto ketvirtoji alternatyva (JICA 2004)
Fig. 3.4. Deep Water Port IV Alternative (JICA 2004)

Pagal JICA rekomendacijas naujasis uostas turėtų būti 17–17,5 m gylio. Būtų suformuota dirbtinė 1,5 km ilgio ir 700 m pločio sala, kurią su dabar veikiančiu uostu jungtų geležinkeliai ir automobilių keliai. Tam, kad būtų patenkinti augantys uosto laivybos poreikiai, turi būti įrengtas dviejų krypčių eismo jūrinis kanalas (300 metrų pločio). Kanalo ir akvatorijos gylis numatytas atitinkamai 17–17,5 m.

Išorinis uostas nebus apsaugotas nuo Baltijos jūros bangų, todėl reikės pastatyti bangolaužius tam, kad būtų apsaugoti vidinis kanalas, apsisukimo baseinai ir krantinės. Bangolaužiai turės saugoti nuo pietų, vakarų ir šiaurės krypties bangų.

Išoriniame uoste numatomi gerai uosto veiklai būtini 5 jūriniai terminalai – naftos priplauka, grūdų terminalas, trąšų terminalas, generalinių krovinių terminalas, konteinerių terminalas.

Naftos terminale bus pastatyta 17 m gylio palų tipo krantinė, kuri galės priimti BALTMAX tipo (244 m bendro ilgio) naftos tanklaivius. Ši krantinė sumažins dabartinių tanklaivių krantinių perkrovą ir bus patraukli vežėjams, tenkins jų pageidavimą taupymo tikslais gabenti krovinius didesniais laivais.

Grūdų terminalas projektuojamas 17 m gylio ir 310 m ilgio krantine. Tai leis priimti BALTMAX tipo (266 m bendro ilgio) birių krovinių laivus. Ši krantinė galės pritraukti tranzitinį grūdų gabenimą iš Rytų šalių.

Trąšų terminale bus pastatytos dvi 15–17 m gylio, bei 570 arba 620 bendro ilgio (priklausomai nuo alternatyvos) krantinės. Pagrindiniai laivai, kuriuos planuojama priimti – PANAMAX tipo laivai biriems kroviniams (225 m bendras ilgio).

Generalinių (pagrindinių) krovinių terminalas – 15 m gylio ir 260 m ilgio krantinė bus pastatyta tam, kad galėtų priimti PANAMAX tipo (225 m bendro ilgio) birių krovinių laivus. Bus įrengti du bėginiai gerviniai kranai, atvira aikštelė (4 ha) ir sandėlis (1000 m²).

Konteinerių terminalas bus pastatytas 15 m gylio ir 330 m ilgio krantine. Tai leis priimti didžiausius konteinerinius laivus.

Sprendžiant uždavinį, t.y. nustatant tinkamiausią alternatyvą, atsižvelgta į 12 kriterijų (3.1 lentelė). Kriterijams vertinti reikalingi duomenys pateikti 3.2 bei 3.3 lentelėse. 3.2 lentelėje pateikti techniniai parametrai, skirti išorinio giliavandens uosto alternatyvų vertinimui, o 3.3 lentelėje išsamiai aprašomas kiekviena rodiklis atskiroms galimoms giliavandens uosto alternatyvoms.

3.2 lentelė. Numatomi uosto alternatyvų komponentai išoriniam uostui**Table 3.2.** Facility components of alternative layout plans

Komponentai		Alter- natyva 1	Alter- natyva 2	Alter- natyva 3	Alter- natyva 4	
Kanalas	Plotis, m	300	300	300	300	
	Gylis, m	17–17,5	17–17,5	17–17,5	17–17,5	
Baseinas	Gylis, m	17	17	17	17	
Bangolaužis	Ilgis, m	3570	2620	3440	3780	
Jūros siena	Ilgis, m	700	1600	800	700	
Uosto terminalai	Naftos prieplauka	Ilgis, m	310	310	310	310
		Gylis, m	17	17	17	17
	Grūdų ter- minalas	Ilgis, m	310	310	310	310
		Gylis, m	17	17	17	17
		Talpa, t	165	165	165	165
	Trašų termi- nalas	Ilgis, m	570	570	620	570
		Gylis, m	15–17	15–17	17	15–17
		Sausas sandėliavimas x1000 t	310	310	310	310
		Skystas sandėliavimas x1000 t	145	145	145	145
	Bendrujų krovinių terminalas	Ilgis, m	260	260	260	260
		Gylis, m	15	15	15	15
		Saugykla, ha	4	4	4	4
		Sandėlis, ha	1	1	1	1
	Konteinerių terminalas	Ilgis, m	330	330	330	330
		Gylis,m	15	15	15	15
		Konteinerių talpa, ha	20	20	20	20
Žemės naudojimas, ha		Terminalų plo- tas	54	54	58	54
		Su uostu susijusi veikla	28	28	12	28
		Rūšiavimo stotys	15	15	15	9
		Kiti	9	15	23	30
		Bendra suma	106	112	98	121

3.3 lentelė. Alternatyvų palyginimas skirtingiems uosto planams**Table 3.3.** Comparison of alternative facility layout plans

	1 alternatyva	2 alternatyva	3 alternatyva	4 alternatyva
x_1	Krovinių vagonus traukia lokomotyvai į traukinių priėmimo stotį, sumontuotą kiekviename jūrų terminale iš geležinkelio rūšiavimo stočių vidaus palei atskirus bėgius, netrukdydami vienas kitam.	Krovinių vagonus traukia lokomotyvai į traukinių priėmimo stotį, sumontuotą kiekviename jūrų terminale iš geležinkelio rūšiavimo stočių vidaus palei atskirus bėgius, netrukdydami vienas kitam.	Traukiniai turi pasiekti traukinių priėmimo stotį sudėtingo proceso metu esant trukdymo vienas kitam rizikai.	Krovinių vagonus traukia lokomotyvai į traukinių priėmimo stotį, sumontuotą kiekviename jūrų terminale iš geležinkelio rūšiavimo stočių vidaus palei atskirus bėgius, netrukdydami vienas kitam.
x_2	Transporto priemonės gali pasiekti jūrų terminalus naudojantis suplanuotais uosto keliais nesusiduriant su geležinkelio bėgiais. Suplanuotas kelias viaduku.	Transporto priemonės gali pasiekti jūrų terminalus naudojantis suplanuotais uosto keliais nesusiduriant su geležinkelio bėgiais. Suplanuotas kelias viaduku.	Transporto priemonės turi pasiekti jūrų terminalus nuolat tam tikruose lygiuose kirsdamos geležinkelių bėgius.	Transporto priemonės gali pasiekti jūrų terminalus naudojantis suplanuotais uosto keliais nesusiduriant su geležinkelio bėgiais. Suplanuotas kelias viaduku.
x_3	Ši alternatyva prisideda prie uosto patrauklumo, ruošiant sklypus su uostu susijusioms eksperto perdurbimo zonoms arba paskirstymo centrums.	Ši alternatyva prisideda prie uosto patrauklumo, ruošiant sklypus su uostu susijusioms eksperto perdurbimo zonoms arba paskirstymo centrums.	Žemės sklypai su uostu susijusioms pramonės šakoms yra palyginti riboti.	Žemės sklypai su uostu susijusioms pramonės šakoms yra palyginti riboti.
x_4	Ši alternatyva buvo suplanuota siekiant sumažinti žemės sklypų segregaciją geležinkelių bėgiais.	Ši alternatyva buvo suplanuota siekiant sumažinti žemės sklypų segregaciją geležinkelių bėgiais.	Uosto plotas yra padalintas dėl geležinkelio bėgių. Dėl to žemės sklypai tampa segreguoti ir apsupti geležinkelių bėgių.	Ši alternatyva buvo suplanuota siekiant sumažinti žemės sklypų segregaciją geležinkelių bėgiais.

3.3 lentelės tęsinys

x_5	Planuojama nepaliesti esančio smėlio paplūdimio I Melnragėje, paliekant vandens kelią tarp toli nuo kranto esančios žemės ir natūralaus paplūdimio, kur vaizdas iš paplūdimio keičiasi. Suplanuotas atstumas tarp esančio paplūdimio ir išorinio uosto yra 100 m.	Po statybos planuojamas 700 m ilgio paplūdimio dalies atstatymas. Likęs paplūdimys bus nepaliestas.	Po statybos planuojamas 1500 m ilgio paplūdimio dalies atstatymas. Likęs paplūdimys bus nepaliestas.	Planuojama nepaliesti esančio smėlio paplūdimio I Melnragėje, paliekant vandens kelią tarp toli nuo kranto esančios žemės ir natūralaus paplūdimio, kur vaizdas iš paplūdimio keičiasi. Suplanuotas atstumas tarp esančio paplūdimio ir išorinio uosto yra 350 m.
x_6	Suplanuota nauja geležinkelio linija sujungianti naują uostą su geležinkelio priėmimo stotimi už uosto ribų iš šiaurinės pusės. Ši alternatyva turi prieigos liniją iš pietų pusės.	Suplanuota nauja geležinkelio linija sujungianti naują uostą su geležinkelio priėmimo stotimi už uosto ribų iš šiaurinės pusės. Kadangi ši alternatyva neturi geležinkelio linijos iš pietų pusės, ji pasižymi trūkumu, kadangi galimas neigiamas poveikis esantiems gyventojams.	Suplanuota nauja geležinkelio linija sujungianti naują uostą su geležinkelio priėmimo stotimi už uosto ribų iš šiaurinės pusės. Ši alternatyva turi prieigos liniją iš pietų pusės.	Suplanuota nauja geležinkelio linija sujungianti naują uostą su geležinkelio priėmimo stotimi už uosto ribų iš šiaurinės pusės. Ši alternatyva turi prieigos liniją iš pietų pusės.
x_7	1080 milijonų eurų	1030 milijonų eurų	1055 milijonų eurų	1011 milijonų eurų
x_8	Plėtimasis į šiaurės pusę yra laikomas lengvu išmontuojant šiaurinį molą.	Ši alternatyva pasižymi trūkumais lyginant su kitomis alternatyvomis dėl galimai kliudomos suplanuotos šiaurinės dambos.	Plėtimasis į šiaurės pusę yra laikomas lengvu išmontuojant šiaurinį molą.	Plėtimasis į šiaurės pusę yra laikomas lengvu išmontuojant šiaurinį molą.

3.1 lentelės tęsinys

x_9	Ši alternatyva laivui suteikia saugią ir greitą prieigą prie suplanuoto uosto dviem keliais ir tiesiu jūros kanalu. Papildomai, molas apsaugo ruožą uosto viduje nuo bangų.	Ši alternatyva laivui suteikia saugią ir greitą prieigą prie suplanuoto uosto dviem keliais ir tiesiu jūros kanalu. Papildomai, molas apsaugo ruožą uosto viduje nuo bangų.	Ši alternatyva laivui suteikia saugią ir greitą prieigą prie suplanuoto uosto dviem keliais ir tiesiu jūros kanalu. Papildomai, molas apsaugo ruožą uosto viduje nuo bangų.	Ši alternatyva laivui suteikia saugią ir greitą prieigą prie suplanuoto uosto dviem keliais ir tiesiu jūros kanalu. Papildomai, molas apsaugo ruožą uosto viduje nuo bangų.
x_{10}	Ši alternatyva suteikia užbaigtumą uostui lyginant su gretimais Baltijos jūros uostais paruošiant giliavandenes krantines BALTMAX tipo laivų priėmimui.	Ši alternatyva suteikia užbaigtumą uostui lyginant su gretimais Baltijos jūros uostais paruošiant giliavandenes krantines BALTMAX tipo laivų priėmimui.	Ši alternatyva suteikia užbaigtumą uostui lyginant su gretimais Baltijos jūros uostais paruošiant giliavandenes krantines BALTMAX tipo laivų priėmimui.	Ši alternatyva suteikia užbaigtumą uostui lyginant su gretimais Baltijos jūros uostais paruošiant giliavandenes krantines BALTMAX tipo laivų priėmimui.
x_{11}	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.
x_{12}	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.	Ši alternatyva suteikia pakankamus sandėliavimo plotus, svarbius terminalo darbui.

Giliavandens uosto geriausias statybos variantas yra nustatomas pagal antrame skyriuje pateiktas formules (2.4.7 poskyris, 2.34–2.42 formulė).

Pirmiausia, pasitelkus sprendimų priėmėjus (ekspertus) bei surinktus pradinis duomenis sudaroma pradinė sprendimo matrica ir pagal antrame skyriuje pateiktas formules 2.36–2.37 matricos reikšmės yra normalizuojamos (3.4 lentelė). Toliau taikant ARAS-F metodo formules yra gaunamos prioriteto tvarka suranguotos reikšmės (3.5 lentelė). Visas skaičiavimo eiliskumas pateiktas priede B.

Pagal optimalumo rodiklio reikšmių eilutę alternatyvų rangai išsidėsto taip: $A_4 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_3$. Ketvirtoji alternatyva įvertinta geriausiai.

3.4 Lentelė. Fuzzy normalizuota sprendimų priėmimo matrica
Table 3.4. Fuzzy normalized decision-making matrix

Kriterijai		Alternatyvos												Fuzzy grupės svoriai					
		A_0			A_1			A_2			A_3								
		[vertinimas]																	
		α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	$q_{j\alpha}$	$q_{j\beta}$	$q_{j\gamma}$
max	x_1	0,208	0,282	0,417	0,083	0,197	0,417	0,083	0,183	0,417	0,042	0,127	0,333	0,083	0,211	0,417	0,048	0,077	0,103
max	x_2	0,208	0,278	0,417	0,083	0,194	0,417	0,042	0,125	0,333	0,083	0,208	0,417	0,083	0,194	0,417	0,030	0,064	0,084
max	x_3	0,208	0,275	0,417	0,083	0,198	0,417	0,083	0,217	0,417	0,042	0,124	0,333	0,083	0,187	0,417	0,026	0,031	0,041
max	x_4	0,217			0,190			0,201			0,176			0,217			0,025	0,072	0,129
max	x_5	0,265	0,385	0,083	0,194	0,385	0,083	0,172	0,385	0,042	0,119	0,308	0,125	0,249	0,385	0,265	0,028	0,050	0,157
max	x_6	0,292	0,417	0,083	0,190	0,417	0,042	0,122	0,333	0,083	0,198	0,417	0,083	0,198	0,417	0,292	0,028	0,062	0,139
min	x_7	0,206			0,195			0,206			0,201			0,193			0,076	0,178	0,283
max	x_8	0,208	0,293	0,417	0,083	0,191	0,417	0,042	0,132	0,333	0,083	0,185	0,417	0,083	0,199	0,417	0,037	0,060	0,093
max	x_9	0,200	0,256	0,385	0,080	0,171	0,385	0,080	0,179	0,385	0,080	0,192	0,385	0,080	0,202	0,385	0,091	0,135	0,200
max	x_{10}	0,200	0,234	0,357	0,080	0,192	0,357	0,120	0,199	0,357	0,080	0,180	0,357	0,080	0,196	0,357	0,027	0,053	0,160
max	x_{11}	0,200			0,200			0,200			0,200			0,200			0,068	0,084	0,109
max	x_{12}	0,200	0,233	0,357	0,080	0,192	0,357	0,080	0,191	0,357	0,080	0,188	0,357	0,120	0,198	0,357	0,036	0,067	0,112

3.5 Lentelė. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys vertinami ARAS-F metodu
Table 3.5. The normalized decision-making matrix data assessed in ARAS-F method

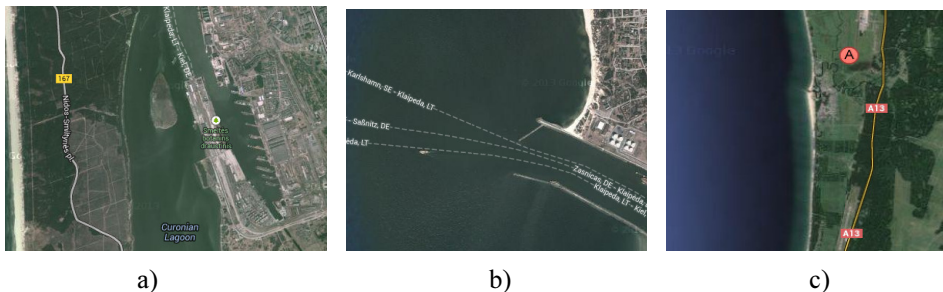
Kriterijai		Alternatyvos														
		A_0			A_1			A_2			A_3			A_4		
		Ivertinimas														
		α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
max	x_1	0,010	0,022	0,043	0,004	0,015	0,043	0,004	0,014	0,043	0,002	0,010	0,034	0,004	0,016	0,043
max	x_2	0,006	0,018	0,035	0,003	0,012	0,035	0,001	0,008	0,028	0,003	0,013	0,035	0,003	0,012	0,035
max	x_3	0,005	0,009	0,017	0,002	0,006	0,017	0,002	0,007	0,017	0,001	0,004	0,014	0,002	0,006	0,017
max	x_4	0,005	0,016	0,028	0,005	0,014	0,025	0,005	0,015	0,026	0,004	0,013	0,023	0,005	0,016	0,028
max	x_5	0,006	0,013	0,060	0,002	0,010	0,060	0,002	0,009	0,060	0,001	0,006	0,04	0,004	0,013	0,060
max	x_6	0,006	0,018	0,058	0,002	0,012	0,058	0,001	0,008	0,046	0,002	0,012	0,058	0,002	0,012	0,058
min	x_7	0,016	0,037	0,058	0,015	0,035	0,055	0,016	0,037	0,058	0,015	0,034	0,057	0,015	0,034	0,055
max	x_8	0,008	0,018	0,039	0,003	0,011	0,039	0,002	0,008	0,031	0,003	0,011	0,039	0,003	0,012	0,039
max	x_9	0,018	0,035	0,077	0,007	0,023	0,077	0,007	0,024	0,077	0,007	0,026	0,077	0,007	0,027	0,077
max	x_{10}	0,005	0,012	0,057	0,002	0,010	0,057	0,003	0,011	0,057	0,002	0,010	0,057	0,002	0,010	0,057
max	x_{11}	0,014	0,017	0,022	0,014	0,017	0,022	0,014	0,017	0,022	0,014	0,017	0,022	0,014	0,017	0,022
max	x_{12}	0,007	0,016	0,040	0,003	0,013	0,040	0,003	0,013	0,040	0,003	0,013	0,040	0,004	0,013	0,040
	\widetilde{S}_i	0,107	0,228	0,534	0,062	0,178	0,528	0,060	0,168	0,506	0,058	0,170	0,503	0,065	0,189	0,530
	\widetilde{S}_i	0,290			0,256			0,245			0,244			0,261		
	K_i	1,000			0,883			0,845			0,841			0,902		

3.3. Suskystintų gamtinių dujų terminalo statybos vietos nustatymas

Siekiant iš esmės pakeisti Lietuvai nepalankią padėtį Nacionalinėje energetikos strategijoje, įtvirtinta nuostata, kad mūsų šalis nebegali būti priklausoma nuo vienintelio dujų tiekėjo ir turi turėti prieigą prie globalios dujų rinkos. Suskystintųjų gamtinių dujų terminalas Klaipėdos uoste pasirinktas kaip efektyviausias ir greičiausiai įgyvendinamas problemos sprendimo būdas.

Vadovaujantis Tarpžinybinės grupės ataskaita, nagrinėjamos trys pagrindinės SGD terminalo statybos vietos:

Kiaulės nugaros (A_1) alternatyva (3.5 pav.) – SGD importo terminalas būtų įrengtas Klaipėdos jūrų uosto dalyje ties Kiaulės nugaros sala. Dujotiekis būtų planuojamas pietinėje Klaipėdos miesto dalyje, šalia esamos 110 kV elektros perdavimo oro linijos „Klaipėda-Marios I,II“ arba suplanuoto pietinio Klaipėdos aplinkkelio, po to – (papildomi variantai) šalia kelio Klaipėda – Šilutė link Jakų žiedo ir greta esamos magistralinio dujotiekio gijos į Klaipėdos DSS ar geležinkelio atšakos į Gargždus (t. y. maksimaliai išnaudojant esamus infrastruktūros koridorius) arba (pagrindinis variantas) agrarinėmis teritorijomis, šiaurės-rytų kryptimi (Sweco Lietuva 2011).



3.5 pav. Galima SGD terminalo statybos vietos – a) Kiaulės nugarą, b) Melnaragė, c) Būtingė (Maps 2013)

Fig. 3.5. Potential LNG Terminal Construction Location – a) Kiaules nugarą, b) Melnarage, c) Butinge (Maps 2013)

Melnragės (A_2) alternatyva (3.5 pav.) – SGD importo terminalas būtų statomas Baltijos jūroje, ties Melnrage. Dujotiekis būtų planuojamas per Girulių mišką (piečiau – Klaipėdos miestas, šiauriau – tankiai apgyvendintos teritorijos) ir nustatytą sankirtos tašką pasiektų tiesiant jį greta geležinkelio, iš šiaurės-rytų pusės, aplenkiant Klaipėdos priemiesčius, arba per Klaipėdos miestą, esamos ir

šiuo metu planuojamos sukabeliuoti 110 kV elektros perdavimo oro linijos apsaugos zonoje (Sweco Lietuva 2011).

Būtingės (A_3) alternatyva (3.5 pav.) – SGD importo terminalas būtų įrengtas Baltijos jūroje ties Būtinge. Dujotiekis eitų per šiaurinę rajono dalį: per Būtingės, Laukžemės ir Laukžemio miškus arba šiek tiek piečiau Mažučių, Kalgraužių, Šventosios miškus, po to geležinkelio Kretinga – Skuodas koridoriumi iki Kretingos. Kretingą dujotiekis apeitų rytiniu pakraščiu ir į pietus iki nustatyto sankirtos su esami magistraliniu dujotiekiu (Sweco Lietuva 2011).

Siekiant sėkmingai taikyti daugiatislius vertinimo metodus, svarbu nustatyti tam tikrą skaičių rodiklių, kurie padėtų susidaryti išsamų vaizdą apie alternatyvas. Išanalizavus alternatyvas bei vadovaujantis ekspertų ataskaita, buvo sudaryta alternatyvų vertinimo sistema su 15 skirtingų rodiklių. 11 rodiklių išreikšta balais skalėje nuo 1 iki 10. Likusieji išreikšti skaitinėmis reikšmėmis (pvz. statybos kaštai, trukmė ir t. t.).

Atliekant SGD terminalo teritorijų alternatyvų lyginamąją daugiatislio vertinimo analizę, bus vertinami socialiniai, aplinkos, ekonominiai ir techniniai veiksniai.

Socialiniai rodikliai (Sweco Lietuva 2011):

S1. Tarptautiniai santykiai – Lietuvos Respublikoje rengiamo plano įgyvendinimo pasekmės gali būti reikšmingos kitos Europos Sąjungos valstybės narės aplinkai, ji gali pareikalauti, kad plano projektas ir atitinkama vertinimo ataskaita būtų jai pateikta prieš priimant ir (arba) tvirtinant minėtąjį planą. Tokios tarpvalstybinės konsultacijos užtrunka ir gali pailginti projekto įgyvendinimą.

S2. Civilinė sauga – SGD sistemos įvairiose šalyse jau daugiau kaip 40 metų intensyviai eksploatuojamos be didesnių avarijų išskyrus porą pirmaisiais technologijos naudojimo metais. Negalima neigti, kad SGD savyje turi didelį pavojaus potencialą, nes tiesiogine prasme yra sukoncentruota energija, tačiau, vertinant statistinę informaciją, yra akivaizdu, kad šio pavojaus realizavimo tikimybė nėra didelė. Rizika vertinama kaip potencialaus pavojaus ir jo realizavimo tikimybės santykis.

S3. Psicho-emocinis fonas – logiška, kad SGD terminalą pastačius greta tankiai apgyvendintų teritorijų, tai gali sukelti didelių nuogastavimų iš toje teritorijoje gyvenančių žmonių pusės.

Aplinkos rodikliai (Sweco Lietuva 2011):

A1. Kraštovaizdis – prieš įgyvendinant SGD terminalo ir su juo susijusios infrastruktūros kūrimo projektą turi būti atlikti natūriniai galimos įtakos kraštovaizdžiui tyrimai, įvertinta galiojančių teisės aktų (Lietuvos Respublikos teritorijos bendrojo plano ir Pajūrio žemyninės dalies tvarkymo specialiojo plano) sprendinių keitimo būtinybė.

A2. Kultūros paveldas – projektuojant aukšto slėgio dujotiekietį atsižvelgiama į kultūros paveldo požiūriu potencialiai vertingų plotų panaudojimą.

A3. Biologinė įvairovė – vienas svarbiausių rodiklių, lemiančių nevienodą alternatyvų vertinimą, yra aukšto slėgio dujotiekio tiesimas, nes dujotiekio trasą galima koreguoti, taip parenkant mažiausią poveikį turinčius sprendinius ir sumažinti arba visiškai išvengti (apeinant vertingas teritorijas) galimo neigiamo poveikio svarbioms teritorijoms ar rūšims.

A4. Aplinkos oras – didžiausia potenciali oro tarša galima išdujinant SGD, nes tam reikalingi nemaži pajėgumai (apie 70 MW). Tokio tiekimo neužtikrinus arba kitų alternatyvų atveju, kur tokio šilumos kiekio tiekimas iš sausumos neįmanomas dėl atitinkamos infrastruktūros nebuvimo krante, jis būtų generuojamas vietoje, deginant tas pačias SGD (2–2,5 % perkraunamų dujų kiekio).

A5. Triukšmas – eksploatuojant SGD terminalą triukšmo šaltiniais galėtų būti paties laivo varikliai ir siurbliai arba kompresoriai, kuriais dujos tiekiamos į krantą.

Ekonominiai rodikliai (Sweco Lietuva 2011):

E1. Poveikis Klaipėdos uosto plėtrai – bendrąja prasme poveikis Klaipėdos valstybiniam jūrų uostui siejamas su navigacijos apribojimais, t.y. tuo metu, kai į uostą atplauktų ar iš jo išplauktų SGD transporteris, laivyba greičiausiai būtų negalima (saugumo sumetimais).

E2. Žemėnauda – nepriklausomai nuo to, kuri iš nagrinėjamų alternatyvų bus pasirinkta, nuo SGD terminalo iki AB „Lietuvos dujos“ priklausančio magistralinių dujotiekių tinklo bus reikalinga nutiesti dujotiekį.

E3. Statybos kaštai – SGD terminalo statybos kaina Eurais.

E4. Eksploatacijos kaštai – kaštai, reikalingi SGD perduoti į krante esančius infrastruktūros tinklus.

Techniniai rodikliai (Sweco Lietuva 2011):

T1. Dujų tiekimo saugumas – sutrikus gamtinių dujų tiekimui, ypatingai šaltuoju metų laiku, gali susidaryti ekstremali situacija iki kol būtų surastas būdas papildyti rezervines kuro atsargas.

T2. Statybos trukmė – laikas, per kurį bus pastatytas SGD terminalas.

T3. SGD terminalo veiklos pertrūkiai – dėl apribojimų navigacijai (vidutiniškai dienų skaičius per metus).

Išnagrinėjus suskystintų gamtinių dujų terminalo projekto ataskaita buvo sudaryta bendra duomenų matrica (3.6 lentelė), kurioje atsispindi skaitinės rodiklių reikšmės: socialiniai, aplinkos, ekonominiai ir techniniai rodikliai.

3.6 lentelė. Kriterijai ir alternatyvų reikšmės**Table 3.6.** Criteria and Alternative Values

		Kriterijai	Vienetai	Alternatyvos		
				I	II	III
		Socialiniai				
S1	max	Tarptautiniai santykiai	balai	6	10	3
S2	max	Civilinė sauga	balai	7	9	10
S3	max	Psicho-emocinis fonas	balai	3	5	10
		Aplinkos				
A1	max	Kraštovaizdis	balai	7	7	10
A2	max	Kultūros paveldas	balai	10	7	7
A3	max	Biologinė įvairovė	balai	10	8	9
A4	max	Aplinkos oras	balai	9	10	10
A5	max	Triukšmas	balai	9	10	10
		Ekonominiai				
E1	max	Poveikis Klaipėdos uosto plėtrai	balai	9	7	10
E2	max	Žemėnauda	balai	10	7	8
E3	min	Statybos kaštai	mln.lt	300	860	860
E4	min	Eksplotacijos kaštai	mln.lt	52	67	73
		Techniniai				
T1	max	Dujų tiekimo saugumas	balai	10	6	6
T2	min	Statybos trukmė	mėn	18	30	31
T3	min	SGD terminalo veiklos pertrūkiai	dienos	25	45	45

Sudarius suskystintų gamtinių dujų terminalo bendrą duomenų matricą, atliekamas rodiklių reikšmingumų nustatymas. Rodiklių reikšmingumų nustatymas buvo grindžiamas pasitelkiant ilgametę patirtį vertinant panašaus pobūdžio objektus bei SGD importo terminalo plėtros plano duomenimis.

Pirmiausia, reikšmingumo koeficientai kiekvienai rodiklių grupei nustatyti atskirai: socialiniai rodikliai – 15 %, aplinkos rodikliai – 30 %, ekonominiai rodikliai – 35 % ir techniniai rodikliai – 20 % (suma lygi 100 %).

Po to reikšmingumas konkrečioms kiekvienos rodiklių grupės rodikliams nustatomas priklausomai nuo svarbos toje rodiklių grupėje. Reikšmingumo koeficientai kiekvienai grupei turi būti lygūs 100 %.

3.7 lentelėje pateikti atskiri reikšmingumų koeficientai kiekvienam rodikliui.

3.7 lentelė. Individualūs reikšmingumo koeficientai kiekvienam kriterijui

Table 3.7. Individual weight coefficients for each criterion

	Rodikliai	Mato vnt	Svarba	Reikšmingumas
	Socialiniai		0,15	
S1	Tarptautiniai santykiai	balai	0,40	0,060
S2	Civilinė sauga	balai	0,35	0,053
S3	Psicho-emocinis fonas	balai	0,25	0,038
	Aplinkos		0,30	
A1	Kraštovaizdis	balai	0,35	0,105
A2	Kultūros paveldas	balai	0,25	0,075
A3	Biologinė įvairovė	balai	0,25	0,075
A4	Aplinkos Oras	balai	0,10	0,030
A5	Triukšmas	balai	0,05	0,015
	Ekonominiai		0,35	
E1	Poveikis Klaipėdos uosto plėtrai	balai	0,20	0,070
E2	Žemėnauda	balai	0,15	0,053
E3	Statybos kaštai	mln.lt	0,40	0,140
E4	Eksplotacijos kaštai	mln.lt	0,25	0,088
	Techniniai		0,20	
T1	Dujų tiekimo saugumas	balai	0,35	0,07
T2	Statybos trukmė	mėn	0,45	0,09
T3	SGD terminalo veiklos pertrūkiai	dienos	0,20	0,04

Siekiant objektyviau įvertinti tiriamas SGD terminalo statybos alternatyvias vietas, yra taikomi 3 skirtingi daugiataksiškai vertinimo metodai: SAW, TOPSIS, COPRAS (visas skaičiavimo eiliškumas pateiktas priede C). Skaičiavimai yra atliekami pagal sudarytas sprendimo priėmimo duomenų matricas (3.6 lentelė) ir apskaičiuotais rodiklių reikšmingumais (3.7 lentelė).

Skaičiavimai SAW metodu atliekami pagal 2.4.2 poskyryje pateiktas (2.15–2.17) formules. Iš pradžių yra normalizuojamos sprendimo priėmimo matricos lentelė (3.8 lentelė).

3.8 lentelė. Normalizuotos duomenų lentelės (skaičiuojant SAW metodu)

Table 3.8. Normalized data tables (counting by SAW method)

Alternatyva	Rodiklis							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
A_1	0,600	0,700	0,300	0,700	1,000	1,000	0,900	0,900
A_2	1,000	0,900	0,500	0,700	0,700	0,800	1,000	1,000
A_3	0,300	1,000	1,000	1,000	0,700	0,900	1,000	1,000

3.8 lentelė. Normalizuotos duomenų lentelės (skaičiuojant SAW metodu) tęsinys
Table 3.8. Normalized data tables (counting by SAW method) (continued)

Alternatyva	Rodiklis						
	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}
A_1	0,900	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A_2	0,700	0,700	0,349	0,776	0,600	0,600	0,556
A_3	1,000	0,800	0,349	0,743	0,600	0,581	0,556

Gauti rezultatai yra surangujami prioritetine tvarka (3.9 lentelė).

3.9 lentelė. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys vertinami SAW metodu

Table 3.9. The normalized decision – making matrix data assessed SAW method

Alternatyva	S_j	Rangai
Kiaulės nugara	0,891	I
Melnragė	0,678	III
Būtingė	0,718	II

Remiantis gauta galutine kiekvienos alternatyvos santykinė bendra verte, sudaroma SAW daugiatislio sprendimo priėmimo metodo alternatyvų prioritetų eilė:

$$A_1 \succ A_3 \succ A_2.$$

Skaičiavimai TOPSIS metodu atliekami pagal antrame skyriuje pateiktas (2.7–2.14) formules. Iš pradžių sprendimo priėmimo duomenų lentelė (3.6 lentelė) yra normalizuojama (3.10 lentelė).

3.10 lentelė. Normalizuotos duomenų lentelės (skaičiuojant TOPSIS metodu)
Table 3.10. Normalized data tables (counting by TOPSIS method)

Alternatyva	Rodiklis							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
A_1	0.498	0.462	0.259	0.497	0.711	0.639	0.537	0.537
A_2	0.830	0.593	0.432	0.497	0.497	0.511	0.597	0.597
A_3	0.249	0.659	0.864	0.711	0.497	0.575	0.597	0.597

3.10 lentelė. Normalizuotos duomenų lentelės (skaičiuojant TOPSIS metodu) tęsinys
Table 3.10. Normalized data tables (counting by TOPSIS method) (continued)

Alternatyva	Rodiklis						
	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}
A_1	0.593	0.685	0.239	0.473	0.762	0.385	0.366
A_2	0.462	0.480	0.687	0.609	0.457	0.642	0.658
A_3	0.659	0.548	0.687	0.637	0.457	0.663	0.658

Gauti rezultatai yra suranguojami prioritetine tvarka (3.11 lentelė).

3.11 lentelė. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys vertinami TOPSIS metodu

Table 3.11. The normalized decision-making matrix data assessed TOPSIS method

Alternatyva	K_j^+	Rangai
Kiaulės nugara	0,626	I
Melnragė	0,374	II
Būtingė	0,318	III

Remiantis gautu galutiniu kiekvienos alternatyvos santykinu atstumu iki idealaus, sudaroma TOPSIS metodu nustatyta alternatyvų prioritetų eilė:

$$A_1 \succ A_2 \succ A_3.$$

Vertinant LNG termino statybos vietos alternatyvas, naudojamosi COPRAS metodu (metodika aprašyta 2.4.3 poskyryje). Skaiciavimo pradžioje yra normalizuojama (3.12 lentelė) sprendimo priėmimo duomenų lentelė (3.6 lentelė).

3.12 lentelė. Normalizuotos duomenų lentelės (skaičiuojant COPRAS metodu)

Table 3.12. Normalized data tables (counting by COPRAS method)

Rodikliai	Alternatyvos		
	A_1	A_2	A_3
x_1	0,025	0,042	0,013
x_2	0,019	0,024	0,027
x_3	0,008	0,014	0,028
x_4	0,026	0,026	0,036
x_5	0,026	0,018	0,018
x_6	0,019	0,015	0,017
x_7	0,008	0,009	0,009
x_8	0,008	0,009	0,009
x_9	0,024	0,019	0,027
x_{10}	0,021	0,015	0,017
x_{11}	0,021	0,060	0,060
x_{12}	0,024	0,031	0,032
x_{13}	0,032	0,019	0,019
x_{14}	0,018	0,030	0,031
x_{15}	0,011	0,020	0,020

Gauti rezultatai yra suranguojami prioritetine tvarka (3.13 lentelė).

3.13 lentelė. Normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys vertinami COPRAS metodu

Table 3.13. The normalized decision-making matrix data assessed COPRAS method

Alternatyva	Q_j	Rangai
Kiaulės nugara	0,949	I
Melnragė	0,587	III
Būtingė	0,593	II

Pagal gautą alternatyvų santykinį efektyvumą, sudaroma nustatyta COPRAS metodo alternatyvų prioritetų eilė:

$$A_1 \succ A_3 \succ A_2.$$

Skirtingais daugiataksiais vertinimo metodais gautiems rezultatams apibendrinti skaičiuojamas aritmetinis rangų vidurkis (3.14 lentelė).

3.14 lentelė Alternatyvų rangų lentelė

Table 3.14. Ranking of alternatives

Alternatyvos	SAW		TOPSIS		COPRAS		Rangų suma	Rangų vidurkis
	S_i	Rangai	K_i^+	Rangai	Q_i	Rangai		
Kiaulės nugara	0,891	1	0,626	1	0,949	1	3	1
Melnragė	0,678	3	0,374	2	0,587	3	8	2,67
Būtingė	0,718	2	0,318	3	0,593	2	7	2,33

Atlikus skaičiavimus trimis metodais (SAW, COPRAS, TOPSIS) nustatyta, kad geriausia alternatyva statyti SGD terminalą yra Kiaulės Nugaroje (3.6 pav.).



3.6 pav. Būsimas SGD terminalas Kiaulės nugaroje (Wikipedia 2013)

Fig. 3.6 Future LNG Terminal on Kiaulės nugara (Wikipedia 2013)

Nustatyta keletas pagrindinių privalumų SGD terminalui statyti Kiaulės nugaroje:

- Uosto akvatorijoje yra sukurta visa reikalinga infrastruktūra SGD terminalo igyvendinimui ir veiklai;
- Klaipėdos uoste yra mažiausia meteorologinių sąlygų įtaka terminalo veiklai;
- Arčiausias galimas prisijungimas prie dujų vamzdyno;
- Greičiausia galimybė technologiškai įrengti SGD terminalą.

3.4. Geriausio vėjo jėgainės modelio parinkimas statyti Baltijos jūroje ties Lietuvos pakrante

Toli nuo kranto esančios vėjo jėgainės suteikia svarbių privalumų vandens ūkiui. Čia nėra pagrindinių fizinių suvaržymų, pvz. navigacinių maršrutų, povandeninių kabelių, saugomų jūros teritorijų. Kita vertus, reikia atsižvelgti ir į kitus aplinkos apsaugos apribojimus (pvz., temperatūra ir druskingumo kintamumas, ištirpusio deguonies koncentracija) planuojant akvakultūros veiklą (Benassai *et al.* 2011).

Svarstomos keturios vėjo jėgainių parko plėtojimo alternatyvos Baltijos jūroje ir netoli Lietuvos kranto.

- A_1 alternatyva – Nordex N80 2,5 MW vėjo jėgainė (3.7 pav.) (Clean technology 2010).



3.7 pav. Nordex N80 2,5 MW vėjo jėgainė (Clean technology 2010)

Fig. 3.7. Nordex N80 2,5 MW Wind Turbine (Clean technology 2010)

- A_2 alternatyva – Vestas V90 3,0 MW vėjo jėgainė (3.8 pav.) (Vestas 2013).



3.8 pav. Vestas V90 3,0 MW vėjo jėgainė (Vestas 2013)

Fig. 3.8. Vestas V90 3,0 MW Wind turbine (Vestas 2013)

A_3 alternatyva – GE Energy 3,6 MW vėjo jėgainė (3.9 pav.) (GE Energy 2008)



3.9 pav. GE Energy 3,6 MW vėjo jėgainė (GE Energy 2008)

Fig. 3.9. GE Energy 3,6 MW Wind Turbine (GE Energy 2008)

– A_4 alternatyva – REpower 5M 5,0 MW vėjo jėgainė (3.10 pav.) (Wind energy solutions 2013)



3.10 pav. REpower 5M 5,0 MW vėjo jėgainė (Wind energy solutions 2013)

Fig. 3.10. REpower 5M 5,0 MW Wind Turbine (Wind energy solutions 2013)

Pagrindiniai techniniai parametrai ir reikalavimai, o taip pat preliminarinė kaina yra pateikiami 3.15 lentelėje.

3.15 lentelė. Pagrindiniai vėjo jėginių rodikliai

Table 3.15. Main parameters of wind power plants

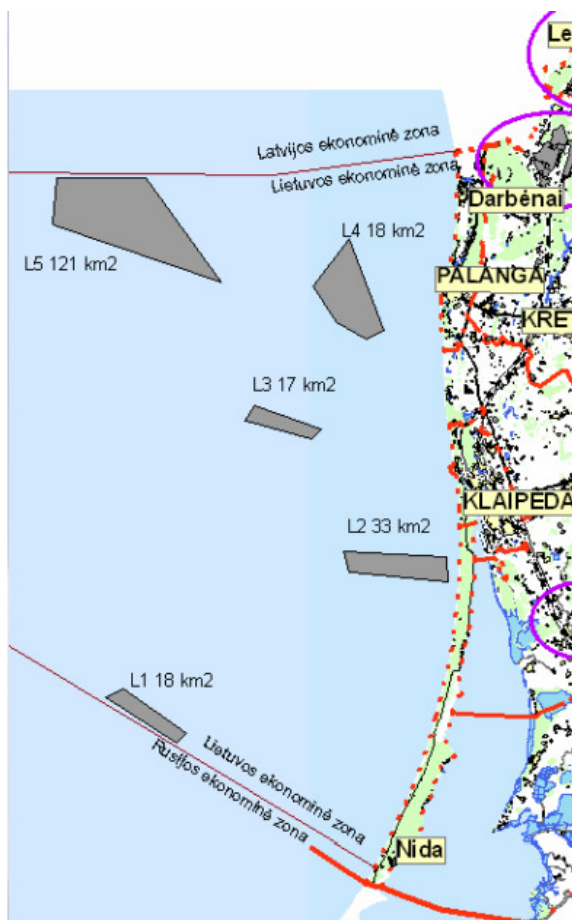
Gamintojas	Mato Vnt.	Nordex	Vestas	GE	Repower
Turbino modelis		Nordex N80	Vestas V90	GE 3.6 sl	Repower 5M
Nominalus galingumas	kW	2500	3000	3600	5000
Rotoriaus skersmuo	m	80	90	104	126
Stebulės aukštis	m	100	105	100	100
Sparnų mo-jimo plotas	m ²	5026	6362	8495	12469
Kaina	10 ⁶ €	3,5	4,2	5,0	7,0
Reikalingas plotas	km ²	0,448	0,567	0,757	1,111

Siekiant tęsti sėkmingą daugiataikslės analizės taikymą svarbu nustatyti ir įvertinti racionalų kriterijų skaičių, kuris nusakytų išsamų alternatyvų apibūdinimą. (Rousis *et al.* 2008).

Pateikiami 5 rodikliai, kurie reikalingi norint tinkamai vertinti vėjo jėgines (Project POWER 2008):

- nominali malūno galia – priklauso nuo statomų vėjo jėginių tipo;
- max galia plote – galima pastatyti vėjo jėginių parką labai plačiai arba atvirkščiai. Nuo to priklauso ir kitos teritorijos panaudojimas;
- energijos kiekis per metus – faktiškai generuojama elektros energijos VEJ parko. Norint suvienodinti palyginimui šie duomenys skaičiuojami 1 MW parko galingumui;
- investicijos – VEJ plėtros, statybos nuo projekto idėjos iki pastatymo ir pridavimo, kaina. Šis rodiklis yra labai svarbus parko statyboje, kadangi viena vėjo jėgainė kainuoja ne vieną milijoną, parkas vystomas daug metų ir bendra suma būna labai didelė;
- CO₂ – tai vienas pagrindinių rodiklių, kodėl yra statomas VEJ parkas. Šis skaičius yra labai svarbus VEJ vystyme. Kiekvienoje valstybėje jis taipogi skaičiuojamas pagal skirtingus koeficientus;

Baltijos jūroje, ties Lietuvos krantais, yra galimos 5 vėjo jėginių jūroje statyboje vietos (3.11 pav.). Kiekvienai galimai statybos vietai parenkama tinkamiausia vėjo jėgainė pagal aukščiau išvardytus rodiklius.



3.11 pav. Galimos vėjo jėgainių statybos jūroje vietos (Klaipėdos mokslo ir technologijų parkas 2010)

Fig. 3.11 Possible places for construction of wind power plants in the sea (Klaipėda science and technology park 2010)

Pagal ataskaitų apie vėjo jėgainių parko jūroje statybų duomenis, buvo sudarytos pagrindinės skaičiavimo duomenų matricos. Spręsti uždaviniui daugiatikslių sprendimų priėmimo metodu pagrindinė informacija yra pateikta 3.16 lentelėje.

Kriterijų reikšmingumai nustatyti AHP metodu, kuris buvo aprašytas 2.3 poskyryje. Pilnas reikšmingumų skaičiavimas pateiktas A priede. Skaičiavimuose naudojami svoriai – q_1 -0,158, q_2 -0,206, q_3 -0,277, q_4 -0,290, q_5 -0,069.

3.16 lentelė. L_1 alternatyvaTable 3.16. L_1 alternative

Gamintojas	Mato Vnt.	Nordex	Vestas	GE	Repower
Turbinos modelis		Nordex N80	Vestas V90	GE 3.6 sl	Repower M5
Plotas	L_1				
Nominalus galingumas	MW	2,5	3,0	3,6	5,0
Maksimali galia plote	MW	100	96	86,4	80
Energijos kiekis per metus	10^3 MWh	356,46	360,21	334,04	327,78
Investicijos	10^6 €	358,97	341,10	314,18	290,45
CO ₂	10^3 t	223,10	225,50	209,05	205,13
Plotas	L_2				
Nominalus galingumas	MW	2,5	3,0	3,6	5,0
Maksimali galia plote	MW	185	174	158,4	150
Energijos kiekis per metus	10^3 MWh	553,27	551,08	515,47	519,33
Investicijos	10^6 €	358,97	341,12	314,18	290,45
CO ₂	10^3 t	346,32	344,9	322,61	325,06
Plotas	L_3				
Nominalus galingumas	MW	2,5	3,0	3,6	5,0
Maksimali galia plote	MW	95	90	79,2	75
Energijos kiekis per metus	10^3 MWh	310,24	310,14	280,78	282,59
Investicijos	10^6 €	259,66	240,05	210,98	192,56
CO ₂	10^3 t	194,20	194,1	175,71	176,82
Plotas	L_4				
Nominalus galingumas	MW	2,5	3,0	3,6	5,0
Maksimali galia plote	MW	267,5	255	226,8	215
Energijos kiekis per metus	10^3 MWh	753,12	762,74	696,85	703,94
Investicijos	10^6 €	632,16	582,61	507,56	457,27
CO ₂	10^3 t	471,42	477,48	436,19	440,63
Plotas	L_5				
Nominalus galingumas	MW	2,5	3,0	3,6	5,0
Maksimali galia plote	MW	675	639	576	545
Energijos kiekis per metus	10^3 MWh	2438,14	2428,17	2255,71	2262,12
Investicijos	10^6 €	1596,71	1462,01	1290,07	1160,311
CO ₂	10^3 t	1526,28	1520,04	1412,07	1416,09

Sudarius pirmines sprendimų priėmimo matricas, skaičiavimams atlikti naudojamas WASPAS metodas, kurio aprašymas pateiktas 2 skyriuje (pilnas skaičiavimas pateiktas D priede). Taikant 2.22 ir 2.23 formules, reikšmės yra normalizuojamos. Normalizavimo metu, priklausomai nuo reikšmės optimizavimo krypties, matricos duomenys gali būti maksimizuojama arba minimizuojama (3.17 lentelė).

3.17 lentelė. Normalizuota sprendimo priėmimo matrica L_1 plotui WASPAS metodu
Table 3.17. Normalized decision-making matrix area of L_1 in WASPAS method

Rodikliai	Alternatyvos				Optimizavimo kryptis
	A_1	A_2	A_3	A_4	
x_1	0,500	0,600	0,720	1,000	max
x_2	1,000	0,960	0,860	0,800	max
x_3	0,989	1,000	0,927	0,910	max
x_4	0,809	0,852	0,924	1,000	min
x_5	0,919	0,910	0,981	1,000	min

Analoginiai skaičiavimai atliekami ir kitoms galimoms vėjo jėgainių statybos vietoms.

Toliau atliekami skaičiavimai antrajame skyriuje pateiktomis 2.25–2.26 formulėmis. Gautieji rezultatai pateikiami 3.18 lentelėje.

3.18 lentelė. Sprendimo rezultatai
Table 3.18. Solution results

Plotas	Prioritetas	Alternatyvos			
		A_1	A_2	A_3	A_4
L_1	Q_i	0,846	0,873	0,882	0,932
	Rangas	4	3	2	1
L_2	Q_i	0,8311	0,860	0,879	0,942
	Rangas	4	3	2	1
L_3	Q_i	0,8278	0,8558	0,8680	0,930
	Rangas	4	3	2	1
L_4	Q_i	0,820	0,853	0,900	0,936
	Rangas	4	3	2	1
L_5	Q_i	0,825	0,854	0,874	0,939
	Rangas	4	3	2	1

Vertinant vėjo jėgaines daugiataksliu WASPAS metodu, gaunamos reikšmių prioritetų eilutės visoms penkioms statybos vietoms yra vienodos:

$$A_4 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_1.$$

Nustatyta geriausia alternatyva – REpower 5M 5,0 MW vėjo jėgainė.

Vėjo energija pastaruoju metu imta vis labiau vertinti. Didžioji dalis pastatytų vėjo jėgainių yra pastatyta arba statoma sausumoje, tačiau vis smarkiau veržiasi į priekį jūroje statomos vėjo jėgainės. Nors investicijos į vėjo energetiką jūroje yra žymiai didesnės, o pats įrengimas nepalyginamai sudėtingesnis už investicijas ir įrengimą sausumoje, tačiau atsipirkimo galimybės yra žymiai didesnės, kadangi vėjas jūroje yra nepalyginamai didesnis, todėl tokia statyba turi dedeles perspektyvas.

3.5. Vėjo jėginių parkų jūroje statybos eiliškumo nustatymas

Kylant problemų dėl žemės riboto naudojimo, vėjo jėginių sukeliamo triukšmo ar kitų problemų bei siekiant išnaudoti Baltijos jūroje esantį vėjo potencialą, labai priimtina yra statyti vėjo jėginių parkus jūroje.

Naujausios technologijos ir sėkminga jau veikiančių jūros vėjo elektrinių parkų Danijoje, Didžiojoje Britanijoje ir Vokietijoje patirtis rodo didelę jūros vėjo energijos rinkos perspektyvą (Lietuvos respublikos energetikos ministerija 2010).

Šiandien Lietuvoje dar nėra pastatytas nė vienas vėjo elektrinių parkas jūroje. 2008 metais įgyvendinto tarptautinio projekto „Vėjo energetikos atviroje jūroje vystymo perspektyvos Lietuvos, Lenkijos ir Rusijos jūrinėse teritorijose (POWER)“ metu buvo išskirta potenciali erdvė vėjo jėginių parkų statybai Lietuvos teritorinėje jūroje bei išskirtinėje ekonominėje zonoje (IEZ) (Lietuvos respublikos energetikos ministerija 2010).

Nustatyta, kad Lietuvos respublikai priklausančiuose vandenyse galima pastatyti penkis vėjo jėginių parkus. Pagrindinis uždavinio tikslas – nustatyti vėjo jėginių statybos eiliškumą, kurių suminė galia apytiksliai yra 1065 MW. 3.13 paveiksle pateiktas apytikslis galimų vėjo parkų išdėstymas (Gulbinskas 2009).

Norint sėkmingai įvertinti vėjo jėginių statybos eiliškumą Lietuvos Respublikai priklausančiuose vandenyse, buvo atrinkti pagrindiniai rodikliai, kuriais remiantis bus atlikta daugiatikslių analizė:

- x_1 – plotas (km^2) – kiek ploto užima VEJ parkas.
- x_2 – vandens gylis (m) – vandens gylis statyboje yra labai griežtas techninis apribojimas, kaip ir statybos aikštelės įvertinimas. Dažniausiai kuo vandens gylis yra mažesnis techniškai priimtino intervalo ribose, tuo tinkamesnė yra vieta, kadangi tai reiškia mažesnes statybos išlaidas.
- x_3 – atstumas iki kranto (km) – atstumas iki kranto yra matuojamas tiesia linija. Taip siekiama įvertinti išlaidas, skirtas povandeninio kabelio, sujungiančio su žeme, įrengimui.
- x_4 – vidutinis vėjo greitis (m/s) – šis rodiklis vėjo sistemoms, esančioms toli nuo kranto, yra labai svarbus, kadangi naudojamas statybos aikštelių įvertinimui. Vėjo greitis yra nustatomas atliekant metinius vėjo parametrų matavimus (išvedant arčiausios meteorologinės stoties stebėjimo duomenų vidurkį).
- x_5 – maksimali galia aikštelėje (WM) – jėginių parkas gali būti statomas labai plačiai arba atvirkščiai. Kiekviena atskira jėgainė turi veikimo plotą, kurio reikia. Tokiu būdu mes galime įvertinti jėgaines konkrečiose vietose.

- x_6 – energijos kiekis per metus (MWh) – faktinis energijos, kurią generuojama jėgainė, kiekis.
- x_7 – investicijos (€) – statyba, elektros pajungimas, prijungimas prie tinklo, planavimas, vėjo jėgainės, reikalingi pritarimai, komunalinės paslaugos ir valdymas yra pagrindiniai kapitalinių išlaidų vėjo jėgainių parko projektams elementai.
- x_8 – CO_2 (t) – tai vienas iš svarbiausių rodiklių aiškinant, kam yra statomas vėjo jėgainių parkas. Šis kriterijus labai svarbus vėjo jėgainių parko statyboje ir kiekvienoje šalyje jis yra skirtingas.

Turėdami alternatyvas j ir rodiklius i sudarome sprendimo priėmimo matricą (3.19 lentelė). Tolimesnis matricos vertinimas yra atliekamas perstatymo metodu, naudojant 2.4.5 poskyryje pateiktas formules.

3.19 lentelė. Pradinė sprendimų priėmimo matrica

Table 3.19. Initial decision – making matrix

Opt. kryptis	Rodikliai	Alternatyvos					q_i
		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	
max	x_1	18	33	17	48	121	0,098
min	x_2	38	32	37	26	32	0,103
min	x_3	52	20	16,5	11,8	31	0,074
max	x_4	9,50	8,41	8,90	8,1	9,60	0,088
max	x_5	80	150	75	215	545	0,118
max	x_6	327,7	519,3	282,5	703,8	2262,2	0,211
min	x_7	290,4	348,5	192,6	457,3	1160,3	0,246
min	x_8	205,1	325,1	176,8	440,6	1416,1	0,062

Kriterijų reikšmingumai buvo nustatomi AHP metodu, remiantis 11 ekspertų nuomonėmis. Gautieji svoriai: q_1 -0,098, q_2 -0,103, q_3 -0,074, q_4 -0,088, q_5 -0,118, q_6 -0,211, q_7 -0,246, q_8 -0,062.

Baltijos jūroje statyti vėjo jėgaines ties Lietuvos krantais yra 5 tikslinės vietos: L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 . Tada egzistuoja 120 perstatymo variantų – $5! = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120$. Skaiciavimo procesas pateiktas 3.20 lentelėje. Pilnas skaičiavimas pateiktas E priede.

Atlikus visus 120 perstatymo variantų, nustatyta, kad geriausias variantas – $117 - L_5 > L_4 > L_2 > L_1 > L_3$, todėl galima teigti, kad jėgainių parkų Baltijos jūroje, ties Lietuvos krantais, statybos eiliškumas yra – $L_4 \succ L_5 \succ L_2 \succ L_3 \succ L_1$.

Pastačius per eilę metų visus galimus parkus jūroje, būtų ne tik įvykdyti išsipareigojimai Europos sąjungai, bet ir ne maža dalimi prisidėta prie Lietuvos energetikos nepriklausomybės.

3.20 lentelė. Perkėlimo variantų formavimas ir skaičiavimo rezultatai
Table 3.20. Feasible permutations and calculation process of evaluation criterion

	$\pi_1 = L_1 > L_2 > L_3 > L_4 > L_5$				
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
L_1	0	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,246+0,062=0,308
L_2	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0	0,098+0,103+0,118+ +0,211=0,530	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,074+0,246+0,062= =0,382
L_3	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485	0,074+0,088+0,246+ +0,062=0,470	0	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,074+0,246+0,062= =0,382
L_4	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485
L_5	0,098+0,103+0,074+ +0,088+0,118+0,211= =0,692	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,098+0,103+0,088+ +0,118+0,211=0,618	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0
Vertinimo rodiklis $\beta_1 = 4,186 - 5,711 = 1,525$					
$\pi_2 = L_1 > L_2 > L_3 > L_5 > L_4$					
	L_1	L_2	L_3	L_5	L_4
L_1	0	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,246+0,062=0,308	0,088+0,246+0,062= =0,396
L_2	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0	0,098+0,103+0,118+ +0,211=0,530	0,074+0,246+0,062= =0,382	0,088+0,246+0,062= =0,396
L_3	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485	0,074+0,088+0,246+ +0,062=0,470	0	0,074+0,246+0,062= =0,382	0,088+0,246+0,062= =0,396
L_5	0,098+0,103+0,074+ +0,088+0,118+0,211= =0,692	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,098+0,103+0,088+ +0,118+0,211=0,618	0	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515

3.20 lentelės tęsinys

L_4	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,103+0,074+0,246++ 0,062=0,485	0
Vertinimo rodiklis					
$\beta_2=4,216-5,681=-1,465$		0,396+0,515+0,308+0,396+0,530+0,382+ +0,396+0,382+0,396+0,515=4,216		0,604+0,485+0,470+0,692+0,515+0,618+ +0,604+0,604+0,604+0,485=5,681	
...					
$\pi_{117}=L_5>L_4>L_3>L_1>L_2$					
	L_5	L_4	L_2	L_1	L_3
L_5	0	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,098+0,103+0,074+ +0,088+0,118+0,211=0,692	0,098+0,103+0,088+ +0,118+0,211=0,618
L_4		0	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604
L_2	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485	0,088+0,246+0,062=0,396	0	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,118+ +0,211=0,530
L_1	0,074+0,246+0,062=0,382	0,088+0,246+0,062=0,396	0,088+0,246+0,062=0,396	0	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515
L_3	0,246+0,062=0,308	0,074+0,088+0,246+ =0,062=0,470	0,074+0,088+0,246+ =0,062=0,470	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485	0
Vertinimo rodiklis					
$\beta_{117}=5,801-4,096=1,705$		0,515+0,515+0,692+0,618+0,604+0,604+ +0,604+0,604+0,530+0,515=5,801		0,485+0,382+0,396+0,308+0,396+0,396+ +0,382+0,396+0,470+0,485=4,096	
...					
$\pi_{119}=L_5>L_4>L_3>L_1>L_2$					
	L_5	L_4	L_3	L_1	L_2
L_5	0	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,098+0,103+0,088+ +0,118+0,211=0,618	0,098+0,103+0,074+ +0,088+0,118+0,211=0,692	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515
L_4		0	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604

3.20 lentelės tęsinys

L_3	0,074+0,246+ +0,062=0,382	0,088+0,246+ +0,062=0,396	0	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485	0,074+0,088+0,246+ +0,062=0,470
L_1	0,246+0,062=0,308	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0	0,088+0,246+0,062= =0,396
L_2	0,074+0,246+0,062= =0,382	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,098+0,103+0,118+ +0,211=0,530	0,098+0,103+0,074+ 0,118+0,211=0,604	0
$\beta_{119}=5,503-4,394=1,109$					
Vertinimo rodiklis					
$\beta_{119}=5,503-4,394=1,109$		0,515+0,618+0,692+0,515+0,604+0,604+ +0,604+0,485+0,470+0,396=5,503		0,485+0,382+0,396+0,530+0,604=4,394	
$\pi_{120}=L_5>L_4>L_3>L_2>L_1$					
	L_5	L_4	L_3	L_2	L_1
L_5	0	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,098+0,103+0,088+ +0,118+0,211=0,618	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,098+0,103+0,074+ +0,088+0,118+0,211= =0,692
L_4	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485	0	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604
L_3	0,074+0,246+0,062= =0,382	0,088+0,246+0,062= =0,396	0	0,074+0,088+0,246+ +0,062=0,470	0,103+0,074+0,246+ +0,062=0,485
L_2	0,074+0,246+0,062= =0,382	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,098+0,103+0,118+ +0,211=0,530	0	0,098+0,103+0,074+ +0,118+0,211=0,604
L_1	0,246+0,062=0,308	0,088+0,246+0,062= =0,396	0,098+0,088+0,118+ +0,211=0,515	0,088+0,246+0,062= =0,396	0
$\beta_{120}=5,711-4,186=1,525$					
Vertinimo rodiklis					
$\beta_{120}=5,711-4,186=1,525$		0,515+0,618+0,515+0,692+0,604+0,604+ 0,604+0,470+0,485+0,604=5,711		0,485+0,382+0,396+0,530+0,604=4,186	

3.6. Vėjo jėgainių jūroje pamatų parinkimas Fuzzy MOORA metodu

Nustatyta, kad Lietuvos Respublikai priklausančiuose vandenyse galima pastatyti penkis vėjo jėgainių parkus su bendra apie 1065 MW galia. Atlikus skaičiavimus ankstesniame poskyryje (3.5 poskyris), nustatyta, kad geriausia vėjo jėgainė iš pasiūlytų statyti Lietuvos pakrantėje yra – REpower 5M vėjo jėgainė.

Vėjo jėgainių parkų statybai jūroje labai svarbus konstrukcinis komponentas yra jėgainių pamatai. Atlikus įvairių mokslinių darbų analizę, įvertinus galimus pamatų tipus, tinkamus Baltijos jūrai ties Lietuvos pakrante, nustatyta, kad tinkamiausias pavyzdys vertinti pamatus vėjo jėgainėms būtų Singh *et al.* (2010) pateiktas straipsnio priedas – *Comparison of available foundation systems*. Pasitelkus duomenis iš Kolios *et al.* (2010), buvo sudaryta bendra pamatų vertinimo sistema, kurios dėka atliekami skaičiavimai bei nustatomi tinkamiausi pamatai, kurie galėtų būti įrengti Baltijos jūroje ties Lietuvos krantais.

Atliekant lyginamuosius skaičiavimus vertinama 14 rodiklių. Iš jų 8 žodiniai rodikliai, 5 rodikliai vertinami balais. Vienas rodiklis – tiksliai skaičiuoti.

Vertinami šešių tipų pamatai: A_1 – gravitaciniai pamatai, A_2 – poliniai pamatai, A_3 – siurbimo kesonai, A_4 – tripodiniai pamatai, A_5 – plūdriosios platformos, A_6 – karkasinio tipo pamatai. Pamatų pavyzdžiai pateikti 3.12 paveiksle.

Rodikliai, kuriais aprašomi pamatų tipai:

- x_1 – montavimas. Dėl pamatų tipų skirtingų konstrukcijų, gabaritų bei skirtingo montavimo pobūdžio skiriasi montavimo sudėtingumas (pagrindiniai veiksniai – laikas ir kaina).
- x_2 – gamyba. Pamatų gamybos sudėtingumas, priklausomai nuo pamatų konstrukcijos ir dydžio.
- x_3 – transportavimas. Pamatų gabenimas iš gamybos vietos į montavimo vietą.
- x_4 – pamatų paplovimas. Galimas grunto išplovimas po pamatais.
- x_5 – priklausomybė nuo grunto savybių. Pamatų konstrukcijos pritaikomumas prie esamo grunto pamato montavimo vietoje.
- x_6 – savasis svoris. Pamato konstrukcijos svoris, tampriai susijęs su jo montavimu ir gamyba.

- x_7 – demontavimas. Konstrukcijos demontavimas, kai pamato konstrukcija tampa nebereikalinga arba kai reikia keisti vėjo jėginių dislokavimo vietą.
- x_8 – projektavimas. Pamatų projektavimas, pasitelkiant visas žinomas duomenis ir mokslinę veiklą.
- x_9 – galimas montavimo gylis. Pamatų tipo galimas naudojimas priklausomai nuo vandens gylio.
- x_{10} – stabilumas. Konstrukcijos atsparumas jėgoms, sukeliančioms įlinkį ar poslinkį.
- x_{11} – patvarumas. Atsparumas nusidėvėjimui ar rūdijimui dėl aplinkos veiksnių ar krovos darbų. Kai kurios struktūrinės konstrukcijos dalys nėra ypatingai reikalingos arba yra pritaikytos atlaikyti didesnes apkrovas. Tai taip pat reiškia, kad jos gali būti laikomos rudimentinėmis konstrukcijomis esant mažai krovai.
- x_{12} – išlaikymas. Šį rodiklį sudaro du elementai: kaštai ir prastovos dėl remonto darbų. Tiesioginis ir neatidėliotinas prieinamumas prie reikalingos įrangos gali žymiai sumažinti prastovų trukmę, bet tuo pačiu padidėja ir išlaikymo kaštai.
- x_{13} – aplinkos veiksniai. Savybės, kurios priklauso nuo geografinės padėties ir struktūrinio dizaino, esminės detalės vėjo jėginių parkų projektuose. Į šiuos veiksnius atsižvelgiama norint išvengti žalingo aplinkos poveikio žemiausioms konstrukcijų dalims, jų statybos, priežiūros ar remonto metu. Taip pat svarbu atsižvelgti į jūrų dugno ekosistemos drumstimą sukeliančius veiksnius bei šešėlį, kurį gali užtraukti pastatyta konstrukcija, ir jo poveikį jūrų gyvūnijai.
- x_{14} – tikėtini kaštai. Šiuo rodikliu įvertinti galimi statybų darbų kaštai – mažiausia ir didžiausia galima suma. Skaičiavimai remiasi preliminariniu projektu, jo įgyvendinimui reikalingų pagrindinių medžiagų rūšimis bei jų kiekiais. Dažniausiai tai būna plienas ir betonas.

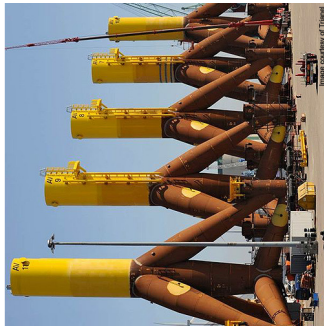
Pagal literatūros analizę, sudaroma bendra skaičiavimo sprendimų priėmimo matrica (3.21 lentelė), pagal kurios duomenis atliekami tolimesni skaičiavimai.



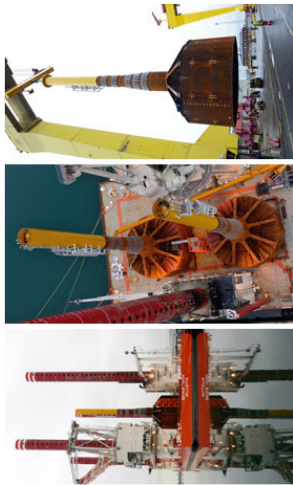
Gravitaciniai pamatai (Recharge 2013)
Gravity base foundation (Recharge 2013)



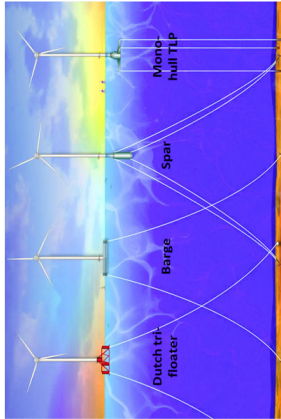
Poliniai pamatai (ReNews 2013)
Monopiles foundation (ReNews 2013)



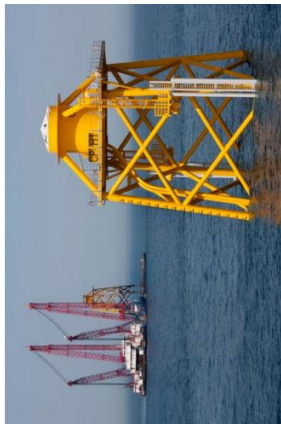
Tripodiniai pamatai (Future... 2014)
Tripod foundation (Future... 2014)



Siurbimo kesonai (The guardian 2013)
Suction caissons (The guardian 2013)



Plūdringosios platformos (Comunidad...2014)
Floating Structures (Comunidad...2014)



Karkasinio tipo pamatai (NTA 2012)
Jacket foundation (NTA 2012)

3.12 pav. Vėjo jėginių pamatai statyboms jūroje
Fig. 3.12 Foundation for the construction of wind turbines at sea

3.21 lentelė. Pamatų palyginimo duomenys
Table 3.21. Comparison of available foundation systems

Rodikliai	Alternatyvos					
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
x_1	Sudėtingai	Vidutiniškai sudėtinga	Vidutiniškai sudėtinga	Vidutiniškai sudėtinga	Lengvai	Vidutiniškai sudėtinga
x_2	Mažiau sudėtinga	Lengvai	Lengvai	Lengvai	Lengvai	Lengvai
x_3	Sudėtingai	Vidutiniškai sudėtinga	Vidutiniškai sudėtinga	Vidutiniškai sudėtinga	Lengvai	Vidutiniškai sudėtinga
x_4	Labai didelė	Vidutiniškai	Vidutiniškai	Vidutiniškai	Labiau nei vidutiniškai	Labiau nei vidutiniškai
x_5	Labai didelė	Vidutiniškai	Vidutiniškai	Vidutiniškai	mažai	mažai
x_6	Didelis	vidutiniškas	vidutiniškas	Didelis	Labiau nei vidutiniškas	mažas
x_7	Sudėtinga	Vidutiniškai sudėtinga	Lengvai	Lengvai	Lengvai	Vidutiniškai sudėtinga
x_8	Labai paprastai	Labiau nei vidutiniškai sudėtinga	Labiau nei vidutiniškai sudėtinga	Labiau nei vidutiniškai sudėtinga	Labai sudėtinga	Labai lengvai
x_9	5–10 m	25–30 m	25–30 m	25–50 m	>50	50
x_{10}	5	4	4	5	4	5
x_{11}	5	4	4	5	3	5
x_{12}	3	4	3	4	5	3
x_{13}	2	4	4	4	2	5
x_{14}	4	2	2	4	4	4

Turėdami alternatyvas j ir rodiklius i sudarome sprendimo priėmimo matricą (3.22 lentelė). Tolimesnis matricos vertinimas yra atliekamas Fuzzy MOORA metodu (2.4.8 poskyris).

3.22 lentelė. Pradinių duomenų matrica su neraiškiaisiais skaičiais

Table 3.22. Fuzzy supplier selection decision matrix

Rodikliai	Alternatyvos					
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
x_1	(1;2;3)	(4;5;6)	(4;5;6)	(4;5;6)	(5;6;7)	(4;5;6)
x_2	(2;3;4)	(5;6;7)	(5;6;7)	(5;6;7)	(5;6;7)	(5;6;7)
x_3	(1;2;3)	(4;5;6)	(4;5;6)	(4;5;6)	(5;6;7)	(4;5;6)
x_4	(8;9;9)	(4;5;6)	(4;5;6)	(4;5;6)	(3;4;5)	(3;4;5)
x_5	(8;9;9)	(4;5;6)	(4;5;6)	(4;5;6)	(2;3;4)	(2;3;4)
x_6	(7;8;9)	(3;4;5)	(3;4;5)	(7;8;9)	(3;4;5)	(2;3;4)
x_7	(1;2;3)	(4;5;6)	(5;6;7)	(5;6;7)	(5;6;7)	(4;5;6)
x_8	(8;9;9)	(3;4;5)	(3;4;5)	(3;4;5)	(0;1;2)	(6;7;8)
x_9	(1;2;3)	(4;5;6)	(4;5;6)	(6;7;8)	(8;9;9)	(7;8;9)
x_{10}	(7;9;9)	(5;7;9)	(5;7;9)	(7;9;9)	(5;7;9)	(7;9;9)
x_{11}	(7;9;9)	(5;7;9)	(5;7;9)	(7;9;9)	(3;5;7)	(7;9;9)
x_{12}	(3;5;7)	(3;5;7)	(3;5;7)	(3;5;7)	(7;9;9)	(3;5;7)
x_{13}	(1;3;5)	(3;5;7)	(3;5;7)	(5;7;9)	(1;3;5)	(7;9;9)
x_{14}	(5;7;9)	(1;3;5)	(1;3;5)	(3;5;7)	(3;5;7)	(5;7;9)

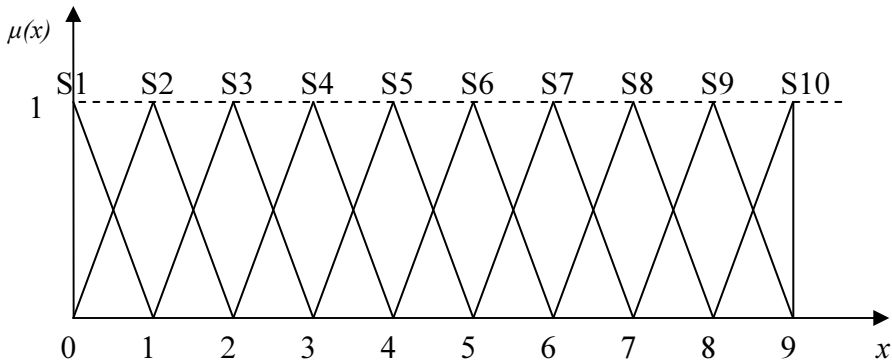
Matrica sudaroma naudojant neraiškiosios logikos grafikus ir lingvistinių kintamųjų lenteles, Pirmiems aštuoniems rodikliams naudojamas 3.13 paveiksle pateiktas grafikas ir 3.23 lentelės duomenys. Sekantiems rodikliams nustatyti (nuo dešimto iki keturiolikto) pritaikytas 3.14 paveiksle pateiktas neraiškios logikos grafikas bei 3.24 lentelė.

3.23 lentelė. Lingvistiniai kintamieji

Table 3.23. Linguistic term

Lygis	Lingvistiniai kintamieji	Reikšmės		
		a	b	c
S1	Neįmanoma	0	0	1
S2	Labai sudėtinga	0	1	2
S3	Sudėtinga	1	2	3
S4	Mažiau sudėtinga arba mažai	2	3	4
S5	Labiau nei vidutiniškai arba labiau nei vidutiniškai sudėtinga	3	4	5
S6	Vidutiniškai arba vidutiniškai sudėtinga	4	5	6
S7	Lengvai	5	6	7
S8	Labai lengvai	6	7	8
S9	Paprastai	7	8	9
S10	Labai paprastai arba labai didelis	8	9	9

Devintas rodiklis – galimas montavimo gylis – nustatomas pagal sprendimo priėmėjo nuomonę, vadovaujantis 3.13 paveiksle pateiktu grafiku ir 3.23 lentelės duomenimis.

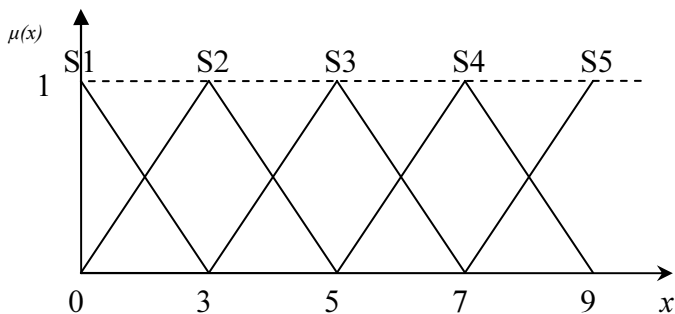


3.13 pav. Neraiškiosios logikos grafikas
Fig. 3.13. Membership functions for linguistic values

3.24 lentelė. Lingvistiniai kintamieji

Table 3.24. Linguistic term

Lygis	Lingvistiniai kintamieji	a	b	c
S1	1	1	1	3
S2	2	1	3	5
S3	3	3	5	7
S4	4	5	7	9
S5	5	7	9	9



3.14 pav. Neraiškiosios logikos grafikas
Fig. 3.14. Membership functions for linguistic values

Norint atlikti tolimesnius skaičiavimus, nustatomi rodiklių reikšmingumai pasitelkiant AHP metodą ir ekspertų porinį palyginimą 2.3 poskyryje aprašytomis formulėmis. Skaičiavimai pateiti F priede. Atlikus porinį palyginimą nustatyti rodiklių reikšmingumai: q_1 -0,032, q_2 -0,075, q_3 -0,054, q_4 -0,072, q_5 -0,056, q_6 -0,087, q_7 -0,058, q_8 -0,122, q_9 -0,072, q_{10} -0,056, q_{11} -0,064, q_{12} -0,048, q_{13} -0,069, q_{14} -0,135.

Taikant 2.43–2.45 formules, reikšmės yra normalizuojamos. Normalizavimo metu priklausomai nuo reikšmės optimizavimo krypties, ji gali būti maksimizuojama arba minimizuojama. Maksimizuojamame intervale didesnė reikšmė yra optimistinė, o mažesnė pesimistinė. Minimizuojamame intervale mažesnė reikšmė yra optimistinė, o didesnė pesimistinė. Gauti duomenys yra pateikti 3.25 lentelėje.

Sudarius normalizuotą sprendimo priėmimo matricą tolimesni skaičiavimai atliekami Fuzzy MOORA metodu, naudojant antrojo skyriaus 2.46–2.49 formules. Gauti rezultatai suranguojami prioritetine tvarka ir pateikti 3.26 lentelėje.

3.26 lentelė. Alternatyvų rangai

Table 3.26. Ranking of alternatives

Alternatyvos	S ⁺			S ⁻			S	Rangas
	a	b	c	a	b	c		
A_1	0,086	0,116	0,134	0,104	0,129	0,148	0,015	6
A_2	0,105	0,135	0,161	0,045	0,069	0,094	0,065	2
A_3	0,098	0,128	0,158	0,045	0,069	0,094	0,059	3
A_4	0,115	0,146	0,169	0,071	0,095	0,120	0,048	4
A_5	0,093	0,123	0,151	0,056	0,080	0,101	0,043	5
A_6	0,136	0,167	0,184	0,056	0,081	0,105	0,082	1

Atlikus skaičiavimus pagal turimus duomenis, nustatyta, kad tinkamiausi pamatai yra karkasinio tipo. Taip pat būtų tinkami ir poliniai pamatai. Blogiausi, ir galimai nevertinami – gravitaciniai. Dėl pakankamai mažų duomenų ir naujoviškumo, plūdriosios platformos liko penktoje vietoje, tačiau populiarėjant vėjo jėgainių statybai jūroje ir atliekant papildomus tyrimus ir projektavimo skaičiavimus, artimiausiais metais tokie pamatai gali tapti tinkamiausi vėjo jėgainių parkams jūroje neapribojant jų statybą vandens gyliu.

3.25 lentelė. Normalizuota sprendimo priėmimo matrica Fuzzy MOORA metodu
Table 3.25. Normalized decision-making matrix in Fuzzy MOORA methods

Rodikliai	Alternatyvos			Optimizavimo kryptis	Reikšmingumai
	A_1	A_2	A_3		
x_1	(0,048, 0,096, 0,144)	(0,192, 0,241, 0,289)	(0,192, 0,241, 0,289)	max	0,032
x_2	(0,083, 0,125, 0,166)	(0,208, 0,249, 0,291)	(0,208, 0,249, 0,291)	max	0,075
x_3	(0,048, 0,096, 0,144)	(0,192, 0,241, 0,289)	(0,192, 0,241, 0,289)	max	0,054
x_4	(0,339, 0,381, 0,381)	(0,169, 0,212, 0,254)	(0,169, 0,212, 0,254)	min	0,072
x_5	(0,353, 0,397, 0,397)	(0,176, 0,220, 0,264)	(0,176, 0,220, 0,264)	min	0,056
x_6	(0,294, 0,336, 0,378)	(0,126, 0,168, 0,210)	(0,126, 0,168, 0,210)	min	0,087
x_7	(0,045, 0,090, 0,134)	(0,179, 0,224, 0,269)	(0,224, 0,269, 0,314)	max	0,058
x_8	(0,345, 0,388, 0,388)	(0,129, 0,172, 0,215)	(0,129, 0,172, 0,215)	max	0,122
x_9	(0,037, 0,074, 0,111)	(0,147, 0,184, 0,221)	(0,147, 0,184, 0,221)	max	0,072
x_{10}	(0,211, 0,272, 0,272)	(0,151, 0,211, 0,272)	(0,151, 0,211, 0,272)	max	0,056
x_{11}	(0,219, 0,281, 0,281)	(0,156, 0,219, 0,281)	(0,156, 0,219, 0,281)	max	0,064
x_{12}	(0,120, 0,200, 0,280)	(0,120, 0,200, 0,280)	(0,120, 0,200, 0,280)	min	0,048
x_{13}	(0,037, 0,111, 0,185)	(0,259, 0,333, 0,333)	(0,111, 0,185, 0,259)	max	0,069
x_{14}	(0,214, 0,300, 0,385)	(0,043, 0,128, 0,214)	(0,043, 0,128, 0,214)	min	0,135

3.25 lentelė. Normalizuota sprendimo priėmimo matrica Fuzzy MOORA metodu (lentelės tesinys)**Table 3.25.** Normalized decision-making matrix in Fuzzy MOORA methods

Rodikliai	Alternatyvos			Optimizavimo kryptis	Reikšmingumai
	A_4	A_5	A_6		
x_1	(0, 192, 0,241, 0,289)	(0,241, 0,289, 0,337)	(0,192, 0,241, 0,289)	max	0,032
x_2	(0,208, 0,249, 0,291)	(0,208, 0,249, 0,291)	(0,208, 0,249, 0,291)	max	0,075
x_3	(0,192, 0,241, 0,289)	(0,241, 0,289, 0,337)	(0,192, 0,241, 0,289)	max	0,054
x_4	(0,169, 0,212, 0,254)	(0,127, 0,169, 0,212)	(0,127, 0,169, 0,212)	min	0,072
x_5	(0,176, 0,220, 0,264)	(0,088, 0,132, 0,176)	(0,088, 0,132, 0,176)	min	0,056
x_6	(0,294, 0,336, 0,378)	(0,126, 0,168, 0,210)	(0,084, 0,126, 0,168)	min	0,087
x_7	(0,224, 0,269, 0,314)	(0,224, 0,269, 0,314)	(0,179, 0,224, 0,269)	max	0,058
x_8	(0,129, 0,172, 0,215)	(0,043, 0,086, 0,129)	(0,258, 0,302, 0,345)	max	0,122
x_9	(0,221, 0,258, 0,295)	(0,295, 0,332, 0,332)	(0,258, 0,295, 0,332)	max	0,072
x_{10}	(0,211, 0,272, 0,272)	(0,151, 0,211, 0,272)	(0,211, 0,272, 0,272)	max	0,056
x_{11}	(0,219, 0,281, 0,281)	(0,094, 0,156, 0,219)	(0,219, 0,281, 0,281)	max	0,064
x_{12}	(0,120, 0,200, 0,280)	(0,280, 0,360, 0,360)	(0,120, 0,200, 0,280)	min	0,048
x_{13}	(0,185, 0,259, 0,333)	(0,037, 0,111, 0,185)	(0,259, 0,333, 0,333)	max	0,069
x_{14}	(0,128, 0,214, 0,300)	(0,128, 0,214, 0,300)	(0,214, 0,300, 0,385)	min	0,135

3.7. Trečiojo skyriaus išvados

1. Jūros statinių statyba yra specifinė statybos sritis, kuri glaudžiai susijusi su strateginiais ir prioritetiniais jūrų valstybės ekonomikos tikslais. Statant tokius objektus (statinius ar jų kompleksus), turi būti visapusiškai išnagrinėti visi galimi teigiami ir neigiami statybos bei eksploatavimo aspektai. Šis vertinimas labai svarbus ne tik tinkamiausiai alternatyvai konkrečiam statiniui nustatyti, bet kartu ir leidžia eksploatacijos, o vėliau esant ir remonto ar modernizavimo poreikiui išvengti didelių ekonominių nuostolių.

2. Jūros statinių statybos poreikiui, statybos galimybėms, galimoms alternatyvoms vertinti pasitelkiami daugiatisksliai sprendimų priėmimo metodai. Tokiais metodais galima atlikti platesnį, įvairiapusiškesnį vertinimą, tiek kiekybiniais, tiek kokybiniais rodikliais.

3. Giliavandens uosto statybos perspektyvos leidžia plėtoti išorinio (uosto saloje) giliavandens uosto viziją. Parinktas giliavandens uosto tipas statyboms Klaipėdoje (Melnragėje). Alternatyvoms vertinti pritaikytas AHP ir ARAS-F metodų derinys. Pasiūlytas metodų derinys įgalina vertinti sudėtingų, ekonomiškai brangių statybos objektų alternatyvų parinkimą. Daugiatiskslio vertinimo metodų deriniai gali būti labai efektyvūs sprendžiant labai sudėtingas inžinerines vietos parinkimo problemas.

4. Analizuojant SGD terminalo statybos vietos parinkimo galimybes, siekta, pasitelkiant darnaus vystymo rodiklius (aplinkos, ekonomikos, socialinio ir techninius), įvertinti tinkamiausią vietą suskystintam dujų terminalui Klaipėdoje statyti. SGD terminalo statybos vietos parinkimas atliktas pasitelkiant daugiatiskslio vertinimo metodų grupę (TOPSIS, SAW, COPRAS), kurių rezultatai agreguoti galutiniais rezultatais pagrįsti. Nustatyta, kad geriausia vieta statyti suskystintų dujų terminalą yra ties Kiaulės nugaros sala.

5. Lietuvoje dar nėra pastatytas nei vienas vėjo elektrinių parkas jūroje. Lietuvos Respublikai priklausančiuose vandenyse galima pastatyti penkis vėjo jėgainių parkus, kurių suminė galia apytiksliai siektų 1065 MW. Dėl nedidelės teritorijos būtina šias penkias teritorijas išnaudoti kuo efektyviau, pastatant visus galimus vėjo jėgainių parkus. Atlikus statybos eiliškumo nustatymą perstatymo metodu, nustatytas šių vėjo jėgainių parkų statybos eiliškumas: $L_4 \succ L_5 \succ L_2 \succ L_3 \succ L_1$.

6. Skirtingi gamintojai pateikia skirtingus vėjo jėgainių modelių duomenis. Atlikus skaičiavimus WASPAS ir AHP metodų deriniu, parinktas geriausias gamintojų pasiūlytas vėjo jėgainės tipas. Nustatyta, kad geriausia alternatyva visose penkiose teritorijose vienoda – 5M Repower tipo vėjo jėgainė, kurios galia siekia 5 MW.

7. Vėjo jėgainių, statomų jūroje, pamatų įrengimo kaina gali sudaryti net iki 30 procentų viso statybos projekto vertės. Lietuvoje vėjo jėgainių parkų statyba galima tose jūros vietose, kur vandens gylis svyruoja nuo 26 iki 38 metrų. Iš to galima teigti, kad visuose parkuose galima parinkti vienodą pamato tipą. Atlikus skaičiavimus Fuzzy MOORA metodu, nustatyta, kad vėjo jėgainių parkams jūroje ties Lietuvos pakrante geriausi būtų karkasinio (angl. *Jacket*) tipo pamatai.

8. Analizuojami praktiniai uždaviniai parodė, kad jūros statiniai yra perspektyvūs ir jų įgyvendinimas yra rekomenduotinas, siekiant tiek ekonominės naudos, tiek energetinės nepriklausomybės.

Bendrosios išvados

1. Atlikus literatūros analizę, nustatyta, kad jūros statinių vertinimo uždaviniai daugeliu atvejų sprendžiami apsiribojant keletu efektyvumo rodiklių. Todėl ne visada parenkami racionalūs variantai. Siekiant padidinti variantų vertinimo patikimumą būtina sudaryti rodiklių sistemas, tiksliau charakterizuojančias keliamus tikslus, bei naudojant daugiatikslius sprendimo priėmimo metodus arba jų derinius užtikrinti darnią jūros statinių statybos plėtrą.
2. Siekiant racionaliausio sprendimo priėmimo rezultato, būtina įvertinti pagrindinius tikslus, charakterizuojančius efektyvumo rodiklius kiekvienam jūros statiniui individualiai.
3. Darbe atlikti giliavandens uosto statybos alternatyvų vertinimai parodė, kad Japonų studijos pasiūlytos alternatyvos nėra racionalios, nes išrinkta geriausia alternatyva sudaro tik apie 90 procentų galimos optimalios alternatyvos.
4. Suskystintų dujų terminalo statybos uosto akvatorijoje (Kiaulės nugaroje) varianto parinkimą labiausiai lėmė mažiausios investicijos (sukurta visa reikalinga infrastruktūra SGD terminalo įgyvendinimui ir veiklai), mažiausi tikėtini eksploatavimo trikdžiai (mažiausia meteorologinių sąlygų įtaka terminalo veiklai) bei statybos trukmė (greičiausia galimybė technologiškai įrengti SGD terminalą).

5. Vėjo energija nėra pastovi ir patikima – ji priklauso nuo vėjo stiprumo ir krypties. Statant vėjo jėgaines jūroje galima vėjo pagaminamos energijos kiekį dalinai kontroliuoti, nes jūrinė aplinka įprastai pasižymi stipresniais ir pastovesniais vėjais, palyginus su sausumos aplinka. Dėl to galima įrengti didesnes turbinas ir pagaminti daugiau elektros energijos.
6. Vertinant pasiūlytus vėjo jėgainių modelius nustatyta, kad tiksliausia statyti pačias galingiausias vėjo jėgaines, nepaisant to, kad jų statybos kaina, eksploatacinės išlaidos didesnės, tačiau atsipirkimo laikotarpis ir pagamintos elektros energijos kiekis tampa svarbiausiu veiksnium vertinant vėjo jėgainių modelius.
7. Siekiant kuo didesnio vėjo energijos indėlio į energetikos sektorių, būtina pastatyti visus 5 galimus vėjo jėgainių parkus jūroje (Lietuvoje). Pastačius visus galimus parkus jūroje, suminė generuojamos elektros energijos galia apytiksliai būtų 1065 MW. Jėgainių parkus tikslinga statyti disertacijoje pateiktu parkų statybos eiliškumu: $L_4 > L_5 > L_2 > L_3 > L_1$.
8. Vėjo jėgainių jūroje vienas pagrindinių elementų yra pamatai, kurie gali sudaryti net iki 30 procentų bendros vėjo jėgainių parkų statybos jūroje projekto kainos. Siekiant kiek įmanoma sumažinti pamatų kainą rekomenduojama kuo labiau standartizuoti pamatų gamybą ir montavimą bei tokiu būdu sumažinti statybos kainą. Įrodyta, kad šiuo metu statyti vėjo jėgainių parkus jūroje tinkamiausias pamatų tipas – karkasinio (angl. *Jacket*) tipo pamatai.

Literatūra ir šaltiniai

- Ackermann, T. 2012. *Wind power in power systems*. John Wiley & Sons, UK., 1120 p.
- Antuchevicienė, J.; Zakarevičius, A.; Zavadskas, E. K. 2011. Measuring Congruence of Ranking Results Applying Particular MCDM Methods, *Informatica* 22(3): 319–338.
- Augutis, J.; Krikštolaitis, R.; Ušpuras, E. 2013. Lithuanian activities in energy security, in C. A. Brebbia (Eds.). *Risk Analysis VIII: WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 3–12.
- Baležentienė, L.; Kusta, A. 2012. Reducing greenhouse gas emissions in grassland ecosystems of the central Lithuania: multi-criteria evaluation on a basis of the ARAS method, *The Scientific World Journal* 2012:1–11. doi: 10.1100/2012/908384
- Baležentienė, L.; Užupis, A. 2012. Fuzzy TOPSIS applied for evaluation of mitigation strategies for greenhouse gas emissions from abandoned grassland. *Applied information and communication technologies: proceedings of the 5-th international scientific conference*, Jelgava, Latvia, April 26–27, p. 242–249.
- Baležentis, A.; Baležentis, T.; Misiūnas, A. 2012. An integrated assessment of Lithuanian economic sectors based on financial ratios and fuzzy MCDM methods, *Technological and Economic Development of Economy* 18(1): 34–53. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2012.656151>
- Baltijos aplinkos forumas [interaktyvus]. 2009. *Atrask Baltijos jūrą* [žiūrėta 2014 m. liepos 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.visitbalticsea.net/download/>

Book_LT.pdf

Benassai, G.; Stenberg, C.; Christoffersen M.; Mariani, P. 2011. A sustainability index for offshore wind farms and open water aquaculture, in *Proc. of the 2nd International Conference on Physical Coastal Processes, Management and Engineering* 149: 3–14. <http://dx.doi.org/10.2495/CP110011>

Bye, A.; Erbrich, C.; Rognlien, B.; Tjelta, T. 1995. Geotechnical design of bucket foundations. *Offshore technology Conference*, Houston, Texas.

Byrne, B. W.; Houlsby, G. T. 2006 Assessing Novel Foundation Options for Offshore Wind Turbines, *World Maritime Technology Conference*, London, U.K 3:1-10.

Bomin linde LNG. [interaktyvus] 2013. [žiūrėta 2013 m. vasario 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://bominlinde.com/lng-terminal-nynaeshamn>

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics* 35(2): 445–469.

Brauers, W. K. M., Zavadskas, E.K., Peldschus, F., Turskis, Z. 2008a. Multi-objective decision-making for road design, *Transport* 23(3), 183–193.

Brauers, W. K. M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. Vilutiene, T. 2008b. Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method, *Journal of Business Economics and Management* 9(4), 245–255.

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2013. Multi-Objective Economic Evaluation of The European Union Member States. As opposed to Credit Rating Agencies Opinions? *Transformations in business and Economics* 12(2): 102–124.

Breton, S. P., Moe, G. 2009. Status, plans and technologies for offshore wind turbines in Europe and North America. *Renewable Energy* 34(3):646–654. doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.040

Burskyte, V.; Belous, O.; Stasiskiene, Z. 2011. Sustainable development of deep-water seaport: the case of Lithuania, *Environmental science and pollution research international* 18:716–726.

Castillo, L.; Dorao, C.A. 2012. Consensual decision-making model based on game theory for LNG processes, *Energy Conversion and Management* 64: 387–396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.06.014>

Cengiz holding. 2014. [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 23 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.cengizgroup.com.tr/en-us/Institutional/News-and-Announcements/Pages/The-last-steps-for-Ordu-Giresun-Airport.aspx>

Chakraborty, S. 2010. Application of the MOORA method for decision making in manufacturing environment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54(12):1155-1166.

Chakraborty, S.; Zavadskas, E.K. 2014. Applications of WASPAS method in manufacturing decision making, *Informatica* 25(1): 1–20.

Chatterjee, P.; Athawale, V. M.; Chakraborty, S. 2011. Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods, *Materials and Design* 32(2): 851–860.

Chen, S. J.; Hwang, C. L. 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, New York. 536 p

Chen, T.-Y. 2012. Comparative analysis of SAW and TOPSIS based on interval-valued fuzzy sets: Discussions on score functions and weight constraints, *Expert Systems with Applications* 39(2): 1848–1861.

Chou, C. C. 2007. A fuzzy MCDM method for solving marine transshipment container port selection problems, *Applied Mathematics and Computation* 186(1): 435–444.

Chou, C. C. 2010a. A fuzzy logic approach to dealing with objective data and subjective rating, *International Journal of Innovative Computing Information and Control* 6(5): 2199–2209.

Chou, C. C. 2010b. AHP model for the container port choice in the multiple-ports region, *Journal of Marine Science and Technology* 18(2): 221–232.

Chou, C. C.; Kuo, F. T.; Gou, R. H.; Tsai, C. L.; Wong, C. P.; Tsou, M. C. 2010. Application of a combined fuzzy multiple criteria decision-making and optimization programming model to the container transportation demand split, *Applied Soft Computing*, 10(4):1080–1086.

Chu, M. T.; Shyu, J.; Tzeng, G. H.; Khosla, R. 2007. Comparison among three analytical methods for knowledge communities group-decision analysis, *Expert Systems with Applications* 33(4): 1011–1024.

Clean technology [interaktyvus]. 2010. *Nordex N80 2.5 MW Wind Turbine from Nordex*. [žiūrėta 2013 m. gruodžio 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.azocleantech.com/news.aspx?newsID=10656>

Collu, M.; Brennan, F. P.; Patel, M. H. 2012. Nova Project: Lessons Learnt During the Conceptual Phase of the Design of a Floating Support Structure for an Offshore Vertical Axis Wind Turbine, in *Proc. of the 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* 7:637–648. <http://dx.doi:10.1115/OMAE2012-84232>

Comunidad financiera [interaktyvus]. 2014. *Futuro de la energía eólica y como puede llegar a dibujarlo Siemens con su contraoferta sobre Alstom* [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.rankia.com/blog/ecos-solares/2266599-futuro-energia-eolica-como-puede-llegar-dibujarlo-siemens-contraoferta-alstom>

Ehrgott, M. 2005. Multicriteria optimization, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 328 p.

ESPO [interaktyvus]. 2014. *European sea ports organisation* [žiūrėta 2014 m. sausio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.espo.be/Home.aspx>

Estache, A.; Rus, G. 2000. *Privatization and regulation of transport infrastructure*,

Washington DC:World Bank, 316 p.

Enagas [interaktyvus]. 2013. *Enagas Company. Madrid, Spain* [žiūrėta 2013 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.enagas.es>

Eurostat [interaktyvus]. 2013. *European statistics*. [žiūrėta 2014 m. sausio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

EUSBSR [interaktyvus]. 2009. *ES Baltijos jūros regiono strategija* [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.baltijosjurosregionas.lt>

Figueira, J.; Greco, S.; Ehrgott, M. 2005. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer. 1045 p.

Flickr [interaktyvus] 2013. [žiūrėta 2014 m. birželio 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.flickr.com/photos/cuxclipper1/7124015089/>

Foss, M. M. 2006. *Offshore LNG Receiving Terminals: a Briefing Paper from the Guide to Commercial Frameworks for LNG in North America* [interaktyvus]. Center for Energy Economics (CEE), Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin. 64 p. [žiūrėta 2013 m. sausio 12 d.]. Prieiga per internetą: http://www.beg.utexas.edu/energyecon/lng/documents/CEE_offshore_LNG.pdf

Future power technology [interaktyvus]. 2014. *Borkum West II Offshore Wind Farm, Germany*. [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.power-technology.com/projects/borkum-farm/borkum-farm3.html>

Gadakh, V. S. 2011. Application of MOORA method for parametric optimization of milling process, *International Journal of Applied Engineering Research* 1:743–758.

Gamboa, G.; Munda, G. 2007. The problem of wind farm location: A social multi-criteria evaluation framework, *Energy Policy* 35(3): 1564–1583. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.021>

GE Energy [interaktyvus]. 2008. *3.6MW Offshore Series Wind Turbine* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 21 d.]. Prieiga per internetą: http://www.ceoe.udel.edu/windpower/resources/ge_36_brochure_new.pdf

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008. Daugiakriterinio vertinimo taikymo galimybės kiekybiniam socialinių reiškinių vertinimui, *Verslas: teorija ir praktika* 9(2): 81–87.

Gipe, P. Wind power. 2004. *Wind Engineering* 28(5):629–631. <http://dx.doi.org/10.1260/0309524043028145>

Green, R.; Vasilakos, N. 2011. The economics of offshore wind, *Energy Policy* 39(2): 496–502. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.011>

Guitouni, A.; Martel, J-M. 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method, *European Journal of Operational Research* 109: 501–521. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00073-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00073-3)

Gulbinskas, S. 2009. Vėjo energetikos plėtros galimybės Baltijos jūroje. *In conference Vėjo energetikos plėtra ir perspektyvos*, June 15, 2009. Vilnius

Hashemkhani Zolfani, S.; Aghdaie, M. H.; Derakhti, A.; Zavadskas, E. K.; Varzandeh, M.H.M. 2013. Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating, *Expert Systems with Applications* 40(17):7111–7121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.040>

Hessami, A.; Campbell, H.; Sanguinetti, C. 2011. A feasibility study of hybrid wind power systems for remote communities, *Energy Policy* 39(2): 877–886. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.011>

Horgan, C. 2013. Using energy payback time to optimise onshore and offshore wind turbine foundations, *Renewable Energy* 53:287–298.

Household Electricity Consumption [interaktyvus]. 2009. [žiūrėta 2014 m. gegužės 11 d.]. Prieiga per internetą: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/hec.htm.

Hwang, C. L.; Yoon K. 1981. *Multiple attribute decision making – methods and applications*. A State of the Art Survey. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 250 p.

Ishizaka, A.; Nemery, P. 2013. *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. Chichester: John Wiley & Sons. 310 p. ISBN 978–1–119–97407–9.

Yusuf, T. 2012. An experimental design approach using TOPSIS method for the selection of computer-integrated manufacturing technologies, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 28(2): 245–256

Jakštas, T. 2010. Ar Lisabonos sutartis turi įtakos Europos bendros energetikos politikos plėtrai?, *Politologija* (4): 113–141.

Japan International Cooperation Agency (JICA) [interaktyvus]. 2004. *The study on the port development project in the Republic of Lithuania*, Final Report, Vol. II [žiūrėta 2012 m. gruodžio 18 d.]. Prieiga per internetą: http://bpatpi.ku.lt/~rosita/Giliavandenis/E02_MAIN/

Kaiser, M.J.; Snyder, B.F [interaktyvus]. 2012. Offshore Wind Energy Cost Modeling, *Green Energy and Technology*, Springer-Verlag London [žiūrėta 2014 m. birželio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.springer.com/978-1-4471-2487-0>

Kaya I.; Kahraman C. 2010. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul, in *Proc. of the 7th International Conference on Sustainable Energy Technologies* 35(6): 2517–2527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.02.051>

Kaya, I.; Kahraman, C. 2014. A comparison of fuzzy multicriteria decision methods for intelligent building assessment, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(3):59–69.

Kahraman C. 2008. *Multi-criteria decision making methods and fuzzy sets*. In *Fuzzy Multi-criteria Decision Making*, Springer: New York

Kahraman, C.; Kaya, T. 2010. Investment analyses using fuzzy probability concept, *Technological and Economic Development of Economy* 16(1): 43–57.

Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Naimavicienė, J.; Krutinis, M.; Plakys, V.; Venskuskas, D. 2010. Model for a Complex Analysis of Intelligent Built, *Environment, Automation in Construction* 19(3): 326–340.

Kalibatas, D.; Turskis, Z. 2008. Multi-criteria evaluation of inner climate by using MOORA method, *International Journal of Information and Control* 37:79–83.

Kalibatas, D.; Zavadskas, E. K.; Kalibatiene, D. 2011. The concept of the ideal indoor environment in multi-attribute assessment of dwelling-houses, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 11(1): 89–101.

Karande, P.; Chakraborty, S. 2012. A Fuzzy-MOORA approach for ERP system selection, *Decision Science Letters* 1:11–22 doi: 10.5267/j.dsl.2012.07.001

Katinas, V.; Marčiukaitis, M.; Markevičius, A. 2009. Current situation of the wind energy use and investigation of wind resources in the coastal region of the Baltic Sea in Lithuania, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(1): 201–207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.012>

Keršulienė, V.; Turskis, Z. 2011. Integrated fuzzy multiple criteria decision-making model for architect selection, *Technological and Economic Development of Economy* 17(4):645–666.

Keršulienė, V.; Turskis, Z. 2014. A hybrid linguistic fuzzy multiple criteria group selection of a chief accounting officer, *Journal of Business Economics and Management* 15(2):232–252.

Khan, S.A.; Rehman, S. 2012. On the use of Unified And-Or fuzzy aggregation operator for multi-criteria decision making in wind farm design process using wind turbines in 500 kW – 750 kW range, in *Proc. of the International Conference on Fuzzy Systems*, (FUZZ-IEEE), 10-15 June, 2012, Brisbane, Australia, 1762–1768. <http://dx.doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2012.6251306>

Kildienė, S.; Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K. 2011. COPRAS based comparative analysis of the European country management capabilities within the construction sector in the time of crisis, *Journal of Business Economics and Management* 12(2): 417–434.

Kildienė, S.; Zavadskas, E.K.; Tamosaitiene, J. 2014. Complex assessment model for advanced technology deployment, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(2):280–290.

Kim, J-Y.; Oh, K-Y.; Kang, K-S.; Lee, J-S. 2013. Site selection of offshore wind farms around the Korean Peninsula through economic evaluation, *Renewable Energy* 54:189–195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.026>

Kytra, S. 2006. *Atsinaujinantys energijos šaltiniai: vadovėlis aukštosios mokykloms*, Kaunas, Technologija. 301 p. ISBN 9955-25-159-X

Klaipėdos miesto savivaldybė [interaktyvus]. 2014. *Investicinė aplinka*. [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 18 d.]. Prieiga per internetą: (<http://www.klaipeda.lt/lit/Investicine-aplinka/1456/3/328>)

Klaipėdos mokslo ir technologijų parkas [interaktyvus]. 2010. *Vėjo jėgainių plėtra vakarų Lietuvoje* [žiūrėta 2013 m. lapkričio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.kmtp.lt/uploads/Renginiai/Inotinkloseminaras100226/VejojegainiupletraLietuvoje.pdf>

Klaipėdos uostas [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.portofklaipeda.lt/news/11449/575/Klaipedos-uoste-vyko-civilines-saugos-pratybos/d,archyve>

Klaipėdos uostas. 2014a. [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. balandžio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.portofklaipeda.lt/>

Klaipėdos uostas [interaktyvus]. 2014b. [žiūrėta 2014 m. sausio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.portofklaipeda.lt/news/389/573/Bronzine-2013-m-krova/d,statistics>

Kolios, A., Collu, M., Chahardehi, A., Brennan, F. P. and Patel, M. H., 2010. A Multi-Criteria Decision Making Method to Compare Support Structures for Offshore Wind Turbines, *Offshore, Process & Engineering Department, School of Engineering, Cranfield University, Bedfordshire, European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC)*

Kračka, M., Brauers, W. K. M., Zavadskas, E.K. 2010. Ranking heating losses in a building by applying the MULTIMOORA. *Engineering Economics* 21(4), 352–359.

Kurian, V. J.; Narayanan, S. P.; Ganapathy, C. 2009. Towers for Offshore Wind Turbines, in *Proc. of the 10th Asian International Conference on Fluid Machinery*, 21–23 October, Kuala Lumpur, Malaysia, 475–488. <http://dx.doi.org/10.1063/1.3464894>

Lee, A. H. I.; Chen, H. H.; Kang, H. Y. 2009. Multi-criteria decision making on strategic selection of wind farms, *Renewable Energy* 34(1): 120–126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.013>

Lee, A. H. I.; Hung, M.-C.; Kang, H.-Y.; Pearn, W. L. 2012. A wind turbine evaluation model under a multi-criteria decision making environment, *Energy Conversion and Management* 64:2893–900.

Lemming, J. K.; Morthorst, P. E.; Clausen, N.-E. [interaktyvus]. 2008. *Offshore Wind Power. Experiences. Potential and Key Issues for Development*. Riso National Laboratory for Sustainable Energy. Denmark. 26p. [žiūrėta 2013 m. sausio 11 d.]. Prieiga per internetą: http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:81306/datastreams/file_3738482/content

Lietuvos laisvosios rinkos institutas [interaktyvus]. 2005. *Uosto valdymas ir politika: iššūkiai, keliai, sprendimai* [žiūrėta 2014 m. sausio 24 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.llri.lt/naujienuos/ekonomine-politika/bendroji-ekonomine-politika/analize->

uosto-valdymas-ir-politika-issukiai-keliai-sprendimai/Irinka

Lietuvos respublikos energetikos ministerija [interaktyvus]. 2010. *Informacija apie planuojamų jūros vėjo jėgainių parkų poveikio aplinkai vertinimo programas* [žiūrėta 2013 m. liepos 21 d.]. Prieiga per internetą: http://www.enmin.lt/lt/activity/veiklos_kryptys/atsinaujantys_energijos_saltiniai/Vejo_jegainiu_parkas.pdf

Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. 2012. *Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija*, Vilnius, Nr. XI-2133, ISBN 978-609-95429-0-4

Lozano-Minguez, E.; Kolios, A.J.; Brennan, F.P. 2011. Multi-criteria assessment of of-fshore wind turbine support structures, *Renewable Energy* 36(11):2831–2837. <http://dx.doi:10.1016/j.renene.2011.04.020>

Ludescher, H.; Naess, J.; Bjerkeli, L. 2011. Detailed Design of a Gravity-Based Structure for Adriatic Liquefied Natural Gas Terminal, *Structural Engineering International* 21(1):99–106. doi:10.2749/101686611X129 10257102712b

Maeda, T.; Yokota, T.; Shimizu, Y.; Adachi, K. 2004. Wind tunnel study of the interaction between two horizontal axis wind turbines. *Wind Engineering* 28(2): 197–212. <http://dx.doi:10.1260/0309524041211396>

Malhotra, S. 2010. Design and Construction Considerations for Offshore Wind Turbine Foundations in North America. In *Proc. of the GeoFlorida 2010, Advances in Analysis, Modeling & Design*, 20-24 February, 2010, Florida, USA, 1533–1542. [http://dx.doi:10.1061/41095\(365\)155](http://dx.doi:10.1061/41095(365)155)

MacCrimmon, K. R. 1968. *Decision making among multiple–attribute alternatives: A Survey and Consolidated Approach*. RAND Memorandum, RM-4823-ARPA.

Mandal, U.K.; Sarkar, B. 2012. Selection of best intelligent manufacturing system (IMS) under fuzzy MOORA conflicting MCDM environment, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2: 301-310

Maps [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013 m. gruodžio 12 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.google.lt/maps/@55.7248875,21.1254838,3615m/data=!3m1!1e3?hl=lt>

Markevičius, A.; Katinas, V.; Marčiukaitis, M. 2007. Wind energy development policy and prospects in Lithuania, *Energy Policy* 35(10): 4893–4901. <http://dx.doi:10.1016/j.enpol.2007.03.026>

Martin, H.; Spano, G.; Küster, J. F.; Collu, M.; Kolios, A.J. 2013. Application and extension of the TOPSIS method for the assessment of floating offshore wind turbine support structures, *Ships and Offshore Structures* 8(5): 477–487. <http://dx.doi:10.1080/17445302.2012.718957>

Metin, C.; Key A. 2010. Decision-Making Process on Logistic Support to Merchant Ships Based on Operational Requirements: Marine Supplier Selection, *Naval Engineers Journal* 122(1): 125–135.

Miller, D.W., Starr, M.K., 1969. *Executive Decisions and Operations Research*. Englewood Cliffs, NJ, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc.

Miller G.T., Spoolman S.E. 2009. *Living in the environment, Concepts, Connections, and Solutions*. Canada.

Miodragović, R.; Tanasijević, M.; Mileusnić, Z.; Jovancić, P. 2012. Effectiveness assessment of agricultural machinery based on fuzzy sets theory, *Expert Systems with Applications* 39(10): 8940–8946.

Mokhtari, K.; Ren, J.; Roberts, C.; Wang, J. 2012. Decision support framework for risk management on sea ports and terminals using fuzzy set theory and evidential reasoning approach, *Expert Systems with Applications* 39(5): 5087–5103.

Motiekaitytė, V.; Steponėnaitė, L. 2010. „Baltija 21” – vyriausybės bendradarbiavimo veiklos gerinant Baltijos jūros aplinkos būklę vertinimas. *Socialinių mokslų studijos* 6:107–122.

Murphy, J., Lynch, K., Serri, L., Airdoldi, D., Lopes, M. 2011. Site Selection Analysis For Offshore Combined Resource Projects in Europe, *In Results of the FP7 ORECCA Project Work Package 2*. 117p.

NatGas.info [interaktyvus]. 2013. *The Independent Natural Gas Information Site*. [žiūrėta 2013 m. sausio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.natgas.info>

NOED. 2008. *Neptune offshore Engineering Development*. [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. birželio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.noed.com.cn/en/Projectshow.asp?ID=209>

NTA [interaktyvus]. 2011. *No Tiree Array* [žiūrėta 2014 m. birželio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.notiree-array.org.uk/wp/wpcontent/uploads/2011/1/image15.png>

NTA [interaktyvus]. 2012. *Jacket foundation image*. [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 11 d.]. Prieiga per internetą: http://www.no-tiree-array.org.uk/?attachment_id=1944

Offshore Wind Energy [interaktyvus]. 2001. *Ready to Power a Sustainable Europe, Final Report*, *Concerted Action on Offshore Wind Energy in Europe*, NNE5-1999-562, 289 p. [žiūrėta 2014 m. kovo 16 d.]. Prieiga per internetą: http://www.offshorewindenergy.org/ca-owee/indexpages/downloads/CA-OWEE_Complete.pdf

Ozerdem, B., Ozer, S., Tosun, M. 2006. Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 94(10):725–743. doi.org/10.1016/j.jweia.2006.02.004

Önüt, S.; Soner, S. 2008. Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment, *Waste Management* 28(9): 1552–1559.

Paelnick, J. H. P. 1976. Qualitative multiple criteria analysis, environmental protection and multiregional development, *Papers of the Regional Science Association* 36: 59–74.

Palevičius, V.; Paliulis, G.M.; Venckauskaitė, J.; Vengrys, B. 2013. Evaluation of the requirement for passenger car parking spaces using multi-criteria methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(1): 49–58. doi:10.3846/13923730.2012.727463

Paulauskas, V. 1998. *Uostų vystymas ir logistika*. Klaipėdos universitetas. Klaipėdos universiteto leidykla, 162 p.

Paulauskas, V.; Plačiene, B.; Lukauskas, V.; Barzdžiukas, R.; Tranyzas, A.; Jonkus, M.; Maksimavičius, R.; Paulauskienė, A.; Maniachin, A. 2001. *Uosto technologija*. Klaipėdos universitetas, Klaipėdos universiteto leidykla, , 255 p.

Petkus, T.; Filatovas, E.; Kurasova, O. 2009. Investigation of human factors while solving multiple criteria optimization problems in computer network, *Technological and Economic Development of Economy* 15(3): 464–479.

Podvezko, V. 2011. The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS, *Inžinerinė Ekonomika-Engineering Economics* 22(2): 134–146.

Port of Riga [interaktyvus]. 2014. *Freeport of Riga authority* [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 06 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.rop.lv/en>

Port of St. Petersburg [interaktyvus]. 2014. *Passenger Port of St. Petersburg "Marine Facade"*. [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.portspb.ru/en/about-port>

Port of Tallinn [interaktyvus]. 2014. *The Port of Good News*. [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.portoftallinn.com>

Port of Ventspils [interaktyvus]. 2014. *Freeport of Ventspils authority*. [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.portofventsipils.lv>

Project POWER [interaktyvus]. 2008. *Baltic offshore energy cluster*. [žiūrėta 2013 m. Spalio 11 d.]. Prieiga per internetą: http://www.bosec.lt/eco/eco_lt.html

Puidokas, M.; Andriuškaitė, L. 2012. Klaipėdos valstybinio jūrų uosto transporto politikos analizė pozicionuojant Lietuvą kaip jūrinę valstybę, *Viešojo politika ir administravimas* 11(3): 404–419. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ppaa.11.3.2499>

Rambøll Wind and MT Højgaard. 2009. *Kriegers Flak Offshore Wind Farm*. Conceptual study of Jacket Foundation for Wind Turbines.

Randolph, M. F., Cassidy, M., Gourvenec, S., and Erbrich, C. 2005. Challenges of offshore geotechnical engineering. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Millpress Rotterdam Netherlands*, 123–176.

Recharge [interaktyvus]. 2013. *Strabag foundations out at Albatros 1* [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.rechargenews.com/wind/article1314076.ece>

Renewable recruitment [interaktyvus]. 2013. *UMaine Wins 1st Phase of Deepwater Floating Offshore Wind Demonstration Project* [žiūrėta 2014 m. birželio 18 d.].

Prieiga per internetą: <http://charlesandnuttall.blogspot.com/2013/02/umaine-wins-1st-phase-of-deepwater.html>

ReNews [interaktyvus]. 2013. *EEW wins Gemini foundations deal* [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://renews.biz/53892/eev-wins-gemini-foundation-deal>

Rousis, K.; Moustakas, K.; Malamis, S.; Papadopoulos, A.; Loizidou, M. 2008. Multi-criteria analysis for the determination of the best WEEE management scenario in Cyprus, *Waste Management* 28(10): 1941-1954. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.12.001>

Rücker, W. 2007. "Offshore wind energy plants: Problems and possible solutions". *Proceedings of the EVACES 2007 Conference in Porto, Portugal*, 55-72.

Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill.

Saaty, T. L.; Kearns, K. P.; Vargas, L. G., 1991. *Analytical planning - the organization of systems* Pittsburgh, PA, RWS Publications.

Seema Raminderjeet, K.; Darshan, K. 2014. Designing a mathematical model using fuzzy based MOORA method for supplier selection, *International Journal of Advanced Engineering Technology* 5(10):16-24.

Seestadt Bremerhaven [interaktyvus]. 2012. *Erfolgreiche Premiere: BLG meistert logistische Herausforderung mit Bravour* [žiūrėta 2014 m. birželio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.bremerhaven.de/meer-erleben/unternehmens-park/erfolgreiche-premiere-blg-meistert-logistische-herausforderung-mit-bravour.47116.html>

Senderr, M. 2005. Tripods with suction caissons as foundations for offshore wind turbines on sand. *Frontiers in Offshore Geotechnics, ISFOG -2005*, 1:397-403.

SGD verslo planas [interaktyvus]. 2012. *Suskystintų gamtinių dujų (SGD) terminalas* [žiūrėta 2014 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: www.oil.lt/uploads/media/SGD_verslo_planas.pdf

Simanavičienė, R.; Liaudanskienė, R.; Ustinovičius, L. 2012. A new synthesis method of structural, technological and safety decisions (SYMAD-3), *Journal of Civil Engineering and Management* 18(2): 265-276. doi:10.3846/13923730.2012.666504

Singh, B.; Mistri, B.; Patel, R. 2010. *Comparison of Foundation Systems for Offshore Wind Turbine Installation*, Institutional repository of College of Engineering, Trivandrum, India. [interaktyvus] [žiūrėta 2012 m. gruodžio 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://117.211.100.42:8180/jspui/bitstream/123456789/1057/1/CEGE04.pdf>

Sivilevičius, H.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2008. Quality Attributes and Complex Assessment Methodology of the Asphalt Mixing Plant, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(3): 161-166.

Skerys, K.; Christauskas, J. 2010. *Transporto statiniai : uostai*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius : Technika, 179 p.

Smulders Foundations. 2012. *Thornton Bank Phase II and III*. [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. birželio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.smulders-foundations.com/project-references/thornton-bank-phase-ii-and-iii>

South Hook LNG terminal [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013 m. sausio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.southhooklng.co.uk>

Sovacool, B.K.; Lindboe, H.H.; Odgaard, O. 2008. Is the Danish wind energy model replicable for toher countries? *The Electricity Journal* 21(2): 27–38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tej.2007.12.009>

Staniūnas, M.; Medineckienė, M.; Zavadskas, E.K.; Kalibatas, D. 2013. To modernize or not: Ecological – economical assessment of multi-dwelling houses modernization, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13(1):88–98 <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2012.11.003>

Statinių konstruktorių klubas [interaktyvus]. 2012. *Apkrovos ir jų deriniai – Jūrinių vėjo jėgainių projektavimas* [žiūrėta 2014 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://konstruktoriu-klubas.lt/index.php/lt/projektavimo/2012-03-20-12-16-07/specialieji-statiniai/100-juriniu-vejo-jegainiu-projektavimas-2-dalis>

Statybos techninis reglamentas STR 2.02.06:2004 „Hidrotechniniai statiniai. Pagrindinės nuostatos“. LR aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-538 (Žin., 2002, Nr. 22-819) Dėl Lietuvos Respublikos statybos įstatymo įgyvendinimo.

Sušinskas, S.; Zavadskas, E.K.; Turskis, Z. 2011. Multiple criteria assessment of pile-columns alternatives, *Baltic Journal of Road Bridge Engineering* 6(3):145–152.

Sweco Lietuva. 2011. *Suskystintų gamtinių dujų importo terminalo plėtros planas*. 11072-00-PP-AR

Sweco Lietuva. 2012. *Suskystintų gamtinių dujų terminalo, susijusios infrastruktūros ir dujotiekio statybos specialusis planas*, 12005-00-STP-K.AR.

Šaparauskas, J., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. 2011. Selection of facade’s alternatives of commercial and public buildings based on multiple criteria. *International Journal of Strategic Property Management* 15(2), 189–203

Šiožinytė, E.; Antuchevičienė J. 2013. Solving the problems of daylighting and tradition continuity in a reconstructed vernacular building, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(6): 873–882. <http://dx.doi:10.3846/13923730.2013.851113>

Šiožinytė, E.; Antucheviciene, J.; Kutut, V. 2014. Upgrading the old vernacular building to contemporary norms: multiple criteria approach, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(2):291–298.

Tarpžinybinės darbo grupės dėl suskystintų gamtinių dujų terminalo statybos Lietuvoje ataskaita [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2013 m. sausio 27 d.]. Prieiga per internetą: http://www.enmin.lt/lt/news/SGD_terminalo_ataskaita.pdf

Tarvydas, D.; Gatautis, R. 2006. Liquefied natural gas in the world and Lithuanian perspective, *Energetika* 3: 94–101.

Technologijos [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2014 m. kovo 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/statybos/straipsnis/Dirbtines-salos-Dubajuje?name=straipsnis-1621&l=2>

The European wind energy association [interaktyvus]. 2014. *Winds energy basics* [žiūrėta 2014 m. balandžio 8 d.]. Prieiga per internetą: www.ewea.org

The guardian [interaktyvus]. 2013. *Suction bucket lays new foundation for offshore wind* [žiūrėta 2014 m. rugpjūčio 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.theguardian.com/environment/2013/jan/22/suction-bucket-offshore-wind>

Torlak, G.; Sevcli, M.; Sanal, M.; Zaim, S. 2011. Analyzing business competition by using fuzzy TOPSIS method: an example of Turkish domestic airline industry, *Expert Systems with Applications* 38(4): 3396–9406.

Triantaphyllou, E.; Mann, S.H. 1989. An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision making methods: a decision-making paradox, *Decision Support Systems* 5(3), 303–312.

Triantaphyllou, E. 2000. *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* 44:23–126 p.

Tupėnaitė, L.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Seniut, M. 2010. Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(2):257–266.

Turskis, Z. 2008. Multi-attribute contractors ranking method by applying Ordering of feasible alternatives of solutions in terms of preferability technique, *Technological and Economic Development of Economy* 14(2): 224–239.

Turskis, Z. 2009. *Daugiatikslio apsisprendimo metodai statinių gyvavimo ciklui modeliuoti*, habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga, Vilnius technika, p. 41.

Tzeng, G-H.; Huang, J-J. 2011. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Boca Raton: Taylor & Francis. 349 p. ISBN 978-1-4398-6157-8.

Vagiona, D.G., Karanikolas, N.M. 2012. A multicriteria approach to evaluate offshore wind farms siting in Greece. *Global NEST Journal* 14(2):235–243.

Van Haaren, R.; Fthenakis, V. 2011. GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(7): 3332–3340.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.010>

Vestas [interaktyvus]. 2013. *V90-3.0 MW at a Glance* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 18 d.]. Prieiga per internetą: http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v90-3_0_mw

Vėjo jėgainės [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2014 m. birželio 06 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vejojegaines.lt/content/view/22/30/>

Volund, P. 2005. Concrete is the future for offshore foundations. *Proceedings of Copenhagen Offshore Wind*, October 26–28 2005, Copenhagen, Denmark.

Vopak LNG [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013 m. sausio 11 d.]. Prieiga per internetą: http://www.vopaklng.com/general/640_542_NLD_HTML.php

Wiegmans, B.; Hoest, A.; Notteboom, T. 2008. Port and terminal selection by deep-sea container operators, *Maritime Policy and Management* 35(6):517–534.

Wikipedia [interaktyvus]. 2013. *Suskystintų gamtinių dujų terminalas* [žiūrėta 2013 m. spalio 15 d.]. Prieiga per internetą: http://lt.wikipedia.org/wiki/Suskystint%C5%B3_gamtini%C5%B3_duj%C5%B3_terminalas

Wikipedia [interaktyvus]. 2014. *Baltijos jūra* [žiūrėta 2014 m. birželio 10 d.]. Prieiga per internetą: http://lt.wikipedia.org/wiki/Baltijos_j%C5%ABra

Wind Energy [interaktyvus]. 2012. *European Wind Energy Association*. Operational offshore wind farms in Europe end 2011 [žiūrėta 2014 m. birželio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ewea.org/policy-issues/offshore>

Wind energy solutions [interaktyvus]. 2013. *Repower systems* [žiūrėta 2013 m. gruodžio 21 d.]. Prieiga per internetą: http://www.repower.de/fileadmin/download/produkte/RE_PP_5M_uk

Wind power [interaktyvus]. 2013. *Engineering and development* [žiūrėta 2014 m. balandžio 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.windpowerengineering.com/policy/world-wind-energy-assn-sees-1900-gw-by-2020/>

Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets, *Information and Control* 8(3): 338–353.

Zavadskas, E.K., Peldschus, F., Kaklauskas, A. *Multiple criteria evaluation of projects in construction*, Vilnius: Technika. 1994.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. *Multiple criteria evaluation of buildings*. Vilnius: Technika (in Lithuanian).

Zavadskas, E. K.; Zakarevicius, A.; Antucheviciene, J. 2006. Evaluation of ranking accuracy in multi-criteria decisions, *Informatica* 17(4): 601–618.

Zavadskas, E. K.; Vilutienė, T. 2006. A multiple criteria evaluation of multi-family apartment blok's maintenance contractors: I-model for maintenance contractor evaluation and the determination of its selection criteria, *Building and Environment* 41(5): 621–632

Zavadskas, E. K.; Antucheviciene, J. 2007. Multiple criteria evaluation of rural building's regeneration alternatives, *Building and Environment* 42: 436–451.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamosaitienė, J. 2008. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2): 85–93.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2010. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, *Technological and Economic Development of Economy* 16(2) (2010) 159–172.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Ustinovičius, L.; Ševčenko, G. 2010. Attributes Weights Determining Peculiarities in Multiple Attribute Decision Making Methods, *Inžinerinė Ekonomika-Engineering Economics* 21(1): 32–43.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Tamošaitienė, J. 2011. Selection of construction enterprises management strategy based on the SWOT and multi-criteria analysis. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 11(4):1063–1082. doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60096-X

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Antucheviciene, J.; Zakarevicius, A. 2012. Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment, *Electronics & Electrical Engineering* 6(122): 3–6. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>

Zavadskas, E. K.; Antucheviciene, J.; Šaparauskas, J.; Turskis, Z. 2013a. MCDM Methods WASPA and MULTIMOORA: verification of robustness of methods when assessing alternative solutions, *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies and Research* 47(2):5–20 [http://www.ecocyb.ase.ro/20132/Zavadskas%20\(T\).pdf](http://www.ecocyb.ase.ro/20132/Zavadskas%20(T).pdf)

Zhixin, W.; Chuanwen, J.; Qian, A.; Chengmin, W. 2009. The key technology of off-shore wind farm and its new development in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1): 216–222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.07.004>

Zimmermann, H. J. Angstenberger. J. 1993. *Fuzzy Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale*. VDI-Verlag GmbH, Dusseldorf, 75 p

Zimmermann, H. J. 1996. *Fuzzy Set Theory and its Applications*, third ed., Boston.

Žukauskienė, V. 2011. Neapibrėžtų aibių teorijos ementų taikymai daugiakriteriuose uždaviniuose, *14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ISSN 2029-7149

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Bagočius, V.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2014. Selecting a location for a liquefied natural gas terminal in the Eastern Baltic sea, *Transport* 29(1):69–74. Thomson Reuters Web of Knowledge (*ISI Web of Science*), IF₂₀₁₃=0,529.

Bagočius, V.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2014. Multi-person selection of the best wind turbine based on the multi-criteria integrated additive-multiplicative utility function. *Journal of Civil Engineering and Management* 20(4):590–599. Thomson Reuters Web of Knowledge (*ISI Web of Science*), IF₂₀₁₃=1,372.

Bagočius, V.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2014. Sequence determining of construction of the offshore wind farm construction applying permutation method, *E+M Ekonomie a Management* 17(3):50–61. Thomson Reuters Web of Knowledge (*ISI Web of Science*), IF₂₀₁₃=0,422.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Bagočius, V. 2015. Multi-criteria selection of a deep-water port in the Eastern Baltic Sea, *Applied Soft Computing* 26:180–192. IF₂₀₁₃=2,679.

Straipsniai kituose leidiniuose

Bagočius, V.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2013. Multi-Criteria Selection of a Deep-Water Port in Klaipėda, *11th International Scientific Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques (MBMST), MAY 16–17, 2013 Vilnius, Lithuania, Procedia Engineering* 57: 144–148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.021>

Bagočius, V.; Vasiljeva, L.; Anužis, M.; 2012. Vėjo jėgainių parko jūroje analizė ir palyginimas, *8 mokslinė konferencija „Technologijų mokslo darbai vakarų Lietuvoje VIII“*, straipsnių rinkinys, 197–201.

Summary in English

Introduction

Problem formulation

Sea ports and their infrastructure play a major part in the rapid development of modern economy. In the last decade, marine structures undertook an especially significant role. Relevant for all states of the region, the EU Strategy for the Baltic Sea Region (EUSBSR 2009) anticipates an even greater significance of marine structures in the development of national economies.

Geographically and historically, the Baltic Sea has become the essential link of the road between western and eastern parts of Europe. The Port of Klaipėda is one of the most modern ports among those located on the eastern part of the Baltic Sea coast. The port handles various types of cargos. As a meeting point of marine, land and railway roads, it can be named the most important and largest transportation centre of the Republic of Lithuania. The port remains ice-free even during the coldest winters, which ensures smooth maritime shipping and uninterrupted cargo handling. It is regarded the most convenient route to Western Europe and America for Commonwealth of Independent States (CIS) and Middle East countries. While for Far East countries, it is the most convenient transit corridor connecting countries of the Far East with Europe.

Competition among ports of the Baltic Sea Region promotes continuous investments into modernisation of the port infrastructure, use of reserve territories, etc. With increase in the capacity of logistics, i.e. subsequent to the use of all possible options for development and modernisation of the existing port, the available port capacity will be-

come insufficient for further efficient operations. Aiming to remain among the leading ports of the Baltic Sea Region, Klaipėda needs to seek for ways to maintain its competitive edge. One of the possible (probable) alternatives – the deep-sea avant-port. This project requires for grand investments, yet undoubtedly offers benefits for Lithuanian economy.

The port and associated enterprises are responsible for more than 23 000 jobs and 10.5% of Lithuanian GDP (Klaipėdos miesto savivaldybė 2014). However, one issue is even more acute for the national economy than the development of the port, namely, energy diversification. Currently, energy security is among key topics for discussion around the globe as it not only helps to successfully create economic wellbeing of states but also impacts on their social evolution (Jakštas 2010). Two most burning issues are investigated: gas import and generation of electricity. Both issues can be partially addressed through improvement of infrastructure of the port and port structures (building new structures and installations).

The structure that ensures a continuous import of gas – liquefied natural gas terminal – will eliminate complete dependence on a single gas supplier as well as ensure the function of the first necessity reserve, etc.

Yet another structure (a group of structures) – offshore wind farm. Offshore wind power is especially promising and rapidly developing electric energy technology. Such farms are used to generate renewable energy (Breton, Moe 2009). It has been estimated that five wind farms could be built off the coast of the Republic of Lithuania with the overall capacity of approx. 1065 MW. Establishment of all possible offshore wind farms would contribute to delivery of Lithuania's obligations toward the European Union as well as national energy independence.

The thesis investigates three significant marine structures: deep-water port (artificial island), liquefied gas terminal and offshore wind farms in the Baltic Sea along the coast of Lithuania. All these structures form the foundation of sustainable economic development in Lithuania. In addition, they will facilitate Lithuania's efforts toward energy independence.

Relevance of the thesis

Marine structures – a complex construction sector with a grand potential. Construction of offshore wind turbines in the Baltic Sea along the coast of Lithuania is one of the stages for the development of renewable energy resources in Lithuania.

Located on the eastern coast of the Baltic Sea, the Port of Klaipėda is the meeting point of marine, land and railway roads that lead to the East and the West. Growing cargo flows promote deliberation and implementation of plans for renewal and development of the existing port infrastructure.

Objectives pertaining to the development of the port and marine structures are limited to a number of criteria; meanwhile, selection of alternatives to be assessed does not always produce a rational result. Consequently, it is important to find the best decision-making methods and criteria that would ensure sustainable development of the port infrastructure and marine structures as well as bring the greatest benefit to the State of Lithuania.

The thesis develops new and adapts the existing decision-making models, providing practical examples for their application. Such models empower stakeholders (entrepreneurs, investors and politicians) concerned with successful development of the State of Lithuania to take improved decisions in selection of coastal development strategies and selection of rational alternatives from those available.

Research object

Assessment of sustainable development strategies for the expedient coastal zone and discrete alternatives of structures

Aim of the thesis

To propose models for evaluation and analysis of possible development of alternatives for marine structures (deep-water avant-port, liquefied natural gas terminal and wind farm) and perform the multi-attribute assessment of these objects.

Objectives of the thesis

The following objectives have been formulated to achieve the aim of the thesis:

1. To determine possibilities for the development of structures on the coastal region (based on the example of Klaipėda) and expediency of their construction.
2. To formulate possible options of marine structures (deep-sea avant-port, liquefied gas terminal, wind farm) and suggest applicable multi-attribute assessment models.
3. To design criteria systems for each problem to be solved and determine the significance of these assessment criteria.
4. Using the designed criteria systems and suggested models for assessment of possible options, to perform multi-attribute assessment of marine structures and rational determination of options.

Research methodology

The research was undertaken using a complex of methodological principles particular to the systematic approach and systematic analysis, decision-making theory and multi-attribute methods (AHP, TOPSIS, SAW, COPRAS, WASPAS, ARAS-F, Perstatymo, Fuzzy MOORA). During theoretical analysis, the review of contemporary scientific literature was undertaken; and the generalisation involved critical assessment of the aforementioned information aimed at identification of the validity of information, i.e. reliability and suitability in practice. At the end of the thesis, practical examples of suggested solutions are provided.

In the course of the thesis preparation, review of scientific literature was undertaken; reports and statistical data of various institutions were used as the basis. Electronic (interactive) databases were the key source of all data. In addition, the thesis used information accumulated by Klaipėda City Municipality and Klaipėda State Seaport Authority.

Scientific novelty of the thesis

In the course of preparation of the thesis, the following results that are new to Civil Engineering were received:

1. Developmental trends of marine structures and key aims were determined.
2. Systems of efficiency criteria were designed to describe specific marine structures (deep-eater avant-port, liquefied natural gas germinal and wind farm) that allow to assess efficiencies of investigated options for such structures.
3. Multi-attribute assessment system was designed for the assessment of marine structure options, which covers the most suitable combinations of methods for solving specific problems: AHP + ARAS-F and AHP + WASPAS, AHP + Fuzzy MOORA, AHP + Permutation method.
4. Using combinations of multi-attribute assessment methods, selection of rational options of marine structures (deep-eater avant-port, liquefied natural gas germinal and wind farm) was achieved.

Practical value of research findings

Research findings may be used in the processes of construction, reconstruction and modernisation of marine structures as well as thorough assessment of strategically significant structures (separate objects or their totality). The suggested multi-attribute assessment methods may be used to solve other problems in areas other than civil engineering.

Defended statements

1. Analysis of sites for marine structures necessitates the use of sustainable development criteria (environmental, economic and social) and their supplementation with technical criteria.
2. Assessment of marine structures and resolution of problems related to these structures suggests that it is expedient to use multi-attribute decision making methods and their combinations.
3. Application of multi-attribute decision making methods allows to compare marine structures and to select the most rational one.

Approval or research findings

Six scientific articles were publicised on the topic of the dissertation: four of which – in peer-reviewed journals of Thomson ISI Web of Science (Bagočius *et al.* 2014a; Bagočius *et al.* 2014b, Bagočius *et al.* 2014c, Zavadskas *et al.* 2015); one – in peer-reviewed proceedings of various scientific conferences (Bagočius *et al.* 2013); and one in proceedings of national conferences (Bagočius *et al.* 2012).

Findings of investigations pertaining to the thesis were announced in two scientific conferences (international and national):

- 11th International Conference *Modern building materials, structures and techniques*, 2013, Vilnius;

- 8th National Conference *Works of technology science in western Lithuania*, 2012, Klaipėda.

Structure of the thesis

The thesis comprises of the introduction, three chapters, summary of findings, resources and list of publications by the author on the topic of the thesis, abstract in English and three annexes.

The volume of the thesis including the abstract amounts to 139 pages with the exception of annexes; the text contains 49 numbered equations, 32 illustrations and 30 tables. The dissertation is built upon 196 references.

1. Significance of strategic marine structures for a coastal state

For states located on a coast, the sea plays an important role in their economic and sustainable development. Lithuania has only approx. one hundred kilometres of the Baltic Sea coast. Researchers, politicians and entrepreneurs keep coming-up with ideas on the best possible use of the available marine potential. Continuous scientific research efforts and increasing investments allow developing the construction or modernisation of various marine structures. Marine structures are attributed to hydrotechnical structures, which can be stationary or floating, installed in seaports, offshore, mouths of rivers, continental shelf or ocean, for the use and protection of resources, provision of services for maritime transport, or limitation of harmful effects on seawater (Statybos techninis reglamentas 2004). Marine objects – deep-water port, liquefied natural gas terminal and offshore wind farm – are especially important.

A port is a natural or human-made area of water that is protected from waves. It is comprised of the totality of structures and installations that allow boarding and debarking of passengers, loading and unloading of cargos, transfer of cargos to other modes of transport, safe berthing and technical management of vessels. According to purpose, ports can be grouped as follows: Commercial ports, Industrial ports, Fishing ports, Port shelters, Military ports, Recreational ports.

An artificial island is an island or an archipelago (group of islands) that has been built rather than formed under natural conditions. Construction methods can vary depending on natural conditions. Firstly, it can be achieved through artificial enlargement of small islands or interconnecting small naturally formed islands into a large one, altering its functional attributes. Yet another method, which is more acceptable, is construction on the seabed.

A number of key reasons can be underlined in terms of artificial island construction: Infrastructure (seaports and airports); Urban development; Developing branches of industry; The need for recreational zones (e.g., hotels and waterparks); Resource extraction (oil rigs, wind farming), etc.

Currently, state of the art technologies can be used to construct artificial islands even if the seabed lies up to 70 metres under the surface.

Liquefied natural gas terminal is an offshore terminal used for import/export of liquefied natural gas transported by special LNG carriers. Such terminals can be offshore

or onshore. LNG carriers approach a floating or an onshore terminal and pump liquefied natural gas (LNG), which is then converted into its usual state and is supplied to end-users via pipelines.

The LNG market is currently growing as LNG is a good alternative for oil and gas supplied via pipelines from the point of extraction (Sweco Lietuva 2012).

LNG infrastructure covers two areas that are usually located far from each other: production and consumption. These two areas are interlined by LNG carriers that are referred to as a virtual “pipeline”.

Due to historic reasons, Lithuania depends on the single supplier of natural gas – the Russian company Gazprom (Sweco Lietuva 2011).

It should be mentioned that the share of natural gas is increasing in the primary energy balance in Lithuania, the greatest gas consumption was reached in 1991, which amounted to 6 billion Nm³ (Sweco Lietuva 2012). The prognosticated gas demand could range from 1.6 to 3.7 billion Nm³ by 2020 (Sweco Lietuva 2011).

The interinstitutional working group assessed two – an offshore and onshore – technologic alternatives for the LNG terminal. Considering such factors as importance to ensure an alternative gas supplier, mean annual consumption of gas in Lithuania, existing and future capacity of the Lithuanian gas system, the duration for technologic instalment of the LNG terminal, environmental protection, safety and other aspects, the working group concluded that the offshore terminal is the best technological solution (Tarpžinybinės darbo... 2010).

Climate change and global warming are among the most important challenges of the contemporary world (Hessami *et al.* 2011). For a while, green energy (wind, sun, water and other resources) was regarded an invention of enthusiasts; however, it is becoming more appealing for large business investments.

The rapid development in wind energy technology has made it the most promising alternative to conventional energy systems in recent years (Lee *et al.* 2009).

Over the latest decade, various countries made grand investments into wind power. Different provisions of currently implemented energy policies anticipate even a greater funding (Green, Vasilakos 2011). The majority of wind turbines are erected onshore; however in some countries (Europe, first of all), construction of offshore wind farms has already commenced. Generation of electric power from sea wind is among the fastest growing areas of renewable energy (Singh *et al.* 2010).

The European Wind Energy Association anticipates that by 2030, offshore wind farms will be generating more electric power than onshore wind farms.

In comparison to onshore wind farms, offshore wind farms have a number of significant advantages (Miller, Spoolman 2009):

- Wind is stronger and more constant, energy yield is 40 percent and more;
- Cannot be seen from the coast, which resolves visual pollution and noise issues;
- No territorial limitations;
- Greater electricity generating capacity;
- Improved linkage of electricity grids;
- Smaller wind turbulence, which means reduced wear of equipment and lesser need for repairs.

A number of key shortcomings can be spotlighted as well:

- Greater project implementation costs;
- More expensive foundations;
- Adverse weather conditions can impede on construction works;
- Limited experience of the industry;
- Greater anticorrosive requirements for materials (due to impact of salt available in water and air);
- Safety and impact on flora and fauna as well as natural habitats.

Average costs of offshore wind turbines have a high dependence on a project. However, research findings suggest that offshore wind turbine projects cost more than those implemented onshore (Offshore Wind Energy 2001). Additional costs of offshore wind turbine systems can be incurred due to construction and maintenance of turbine foundations, instalment and construction of turbines, operation of systems and maintenance of turbines. Figure S1 provides average construction and maintenance costs for an offshore wind farm. However, actual accurate costs of each category provided in the figure can greatly differ depending on a project.

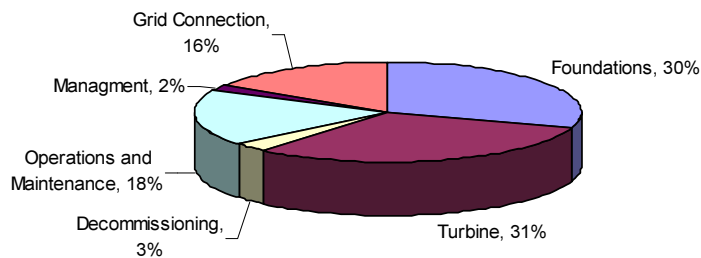


Fig. S1. Typical cost breakdown for an offshore wind farm in shallow water

In this area, Lithuania has to keep its obligations towards the EU. It is anticipated that by 2020, wind turbines could generate 10 percent of the total consumed electricity. The state must facilitate the instalment wind turbines with at least 500 MW net power (Lietuvos Respublikos... 2012).

Foundations – one of the most important elements of a wind turbine. Foundation technologies are selected considering a construction site and related conditions. The greatest possible wind speed, depth of water, height of waves, currents and wave beating determine the type of turbine foundations (Byrne, Houlsby 2006; Kaiser, Snyder 2012).

Development of offshore wind farms is beneficial for underprivileged coastal regions with barely surviving fisheries and ship construction industries. To select an appropriate territory for offshore wind turbines, the entire region needs to be appropriately analysed.

Three key factors determine the selection of a construction site for a wind farm: potential yield of wind energy, accessibility of the energy system and conditions for construction (Ozerdem *et al.* 2006).

In order to analyse possible locations for wind turbines, it is important to collect and process all available information, provide a detail description of specificities and parameters particular to the construction process and the site. This data can be grouped in the following manner (Murphy *et al.* 2011):

- Information about restricted (limited) territories in the region under interest;
- Information that provides important data on the territory in the region under interest.

Group one covers all natural restrictions or those established by legislation or man-made limitations effectual in the sea territory under investigation.

Group two covers all technical restrictions.

2. Integrated assessment methods for marine structures

Chapter two presents developmental trends particular to marine structures as well as classification of multi-criteria assessment methods and analysis of multi-criteria decision making methods based on qualitative and quantitative measurements.

The Government of the Republic of Lithuania is making efforts in facilitation of Lithuania's capabilities to utilise advantages of a coastal state (the jurisdiction of a coastal state covers a section of the coast, sea area and ports) (Puidokas, Andriuškaitė 2012).

Firstly, the most significant projects of the Republic of Lithuania have been selected: deep-water avant-port, LNG terminal and wind farms.

The ice-free Port of Klaipėda as well as its rather high-quality infrastructure could be regarded as one of the most significant competitive edges of the state, which ensures conditions for economic and political independence. Efforts are made to provide exhaustive analysis and assessment regarding the construction of a modern deep-water port. It is planned to commence with construction of the deep-water port of Klaipėda as soon as advantageous situation on the market occurs. Literature analysis revealed the main strengths, weaknesses, opportunities and strengths of the Port of Klaipėda. This information confirmed the need for the development of the Port of Klaipėda in the direction of the sea.

LNG terminal is among the most significant projects that will ensure the national energy security, provide conditions for emergence of the natural gas market, and bring the economic benefit for the state as well as end-users. The necessity of the LNG terminal was disclosed with the help of SWOT analysis (SGD verslo planas 2012).

Compared to other water bodies that surround Europe, the developmental potential of offshore wind energy sector in the Baltic Sea is enormous. Most countries (especially in Europe) are taking serious steps toward the development of offshore wind energy sector or preparing for such steps by undertaking SWOT analyses. Evaluation of such analyses allows suggesting that Lithuania should also take a more serious approach toward possibilities to establish offshore wind farms.

SWOT analyses show that each project has a different set of criteria that should be measured by different units, has different directions for optimisation and, usually, are conflicting with each other. Over the current decade, multi-criteria decision making me-

thods have been rapidly developing. Prof Dr Habil Zavadskas from Vilnius Gediminas Technical University established his school and developed the majority of new methods as well as adapted the already existing models and methods authored by other researchers. To successfully select the most appropriate alternatives, each object under investigation should undergo a multi-criteria decision making assessment.

Use of multi-criteria methods help faster and more rational solution of relevant problems particular to various areas.

Currently, a number of decision making methods exists under the name of Multi-Criteria Decision Making (MCDM).

Multi-criteria decision making methods that require qualitative and quantitative information on criteria have been selected to address problems related to marine structures.

As such problems concern different objects (from selecting the location for the deep-water port to selecting the type of foundations for wind turbines), seven methods were chosen for different assessment of marine structures:

- The technique for order of preference by similarity to ideal solution TOPSIS (Hwang, Yoon 1981);
- Simple additive weighting method SAW (MacCrimmon 1968);
- Multi-criteria assessment method COPRAS (Zavadskas, Kaklauskas 1996);
- Weighted aggregated sum product assessment WASPAS (Zavadskas *et al.* 2012);
- Ordering feasible alternatives of solutions in terms of preferability (permutation method) (Paelnick 1976);
- Fuzzy additive ratio assessment method ARAS-F (Zavadskas, Turskis 2010);
- Fuzzy multi-objective optimization on the basis of ratio analysis Fuzzy MOORA (Karande, Chakraborty 2012).

The area of multi-criteria analysis is not yet fully developed and the methods are not yet perfect. It is impossible to define the best method for each specific problem and they could be either suitable or unsuitable (Triantaphyllou 2000).

Researchers arrive to a conclusion that multi-criteria decision making methods are only tools that help a person or a group of people to take the final decision. Multi-criteria decision making methods help to systemise and mathematically process the available information. In some cases, without sufficient knowledge and experience in the area of science under study and due to their own attitude, experts tend to overestimate certain things and completely underestimate others (Zavadskas *et al.* 2010).

As problems addressed in the thesis are of different types, it was decided to use different multi-criteria decision making methods that would be most suitable for information processing and produce the best result in each specific case.

3. Integrated assessment of marine structures

Chapter three describes multi-criteria decision making models adapted for marine structures. The chapter presents five different problems particular to the topic.

The first problem uses multi-criteria decision making method to assess a potential deep-water port in Klaipėda. Different alternatives for an avant-island (Melnragė) are assessed as possible construction sites. According to the most up-to-date estimations, annual capacity of the Port of Klaipėda amounts to 51.1 million tonnes. In 2012, it was prognosticated that all potential of the port would be fully used in the period 2015–2020. Due to the current geopolitical situation in Europe, these predictions were adjusted to the period 2020–2025. In order to deal with capacity deficits by 2025 and satisfy shipping needs related to the ability to accept BALTMAX type vessels, which would help to withstand competition in the Baltic Sea, the port should be expanded beyond the current territorial boundaries.

To ensure timely implementation of developmental objectives of the Port of Klaipėda, Japan International Cooperation Agency (JICA 2004) made a feasibility study on the development of the Port of Klaipėda and suggested four alternatives for the avant-port (near Melnragė).

According to recommendations of JICA, the new port should be 17–17.5 m deep. An artificial island of 1.5 km in length and 700 m in width would be created and linked with the currently existing port by railways and motorways.

Five sea terminals are anticipated in the avant-port to ensure appropriate operation: oil dock, grain terminal, fertiliser terminal, general cargo terminal and container terminal. Twelve criteria were considered while solving the problem, i.e. defining the most suitable alternative: x_1 – accessibility to the marine terminals for railcars from the railway yard within the outer port area; x_2 – accessibility to terminals by vehicles from outside the port; x_3 – attractiveness to port-related industries; x_4 – efficiency of land use; x_5 – conservation of the natural sand beach; x_6 – impact of a railway access line on the existing residential areas behind the Outer Port area; x_7 – construction cost; x_8 – ease of further expansion; x_9 – accessibility to the marine terminals for calling vessels; x_{10} – competitiveness with other Baltic seaports; x_{11} – storage capacity; x_{12} – efficiency of dockside operations.

First of all, with the help of decision-makers (experts) and collected primary data as well as data of the feasibility study made by JICA (Table S1), the primary decision matrix is created and calculations are made with the help of ARAS-F method. Full calculation sequence is provided in Annex C.

Table S1. Comparison of Alternative Facility Layout Plans

	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4
x_1	Cargo railcars are hauled by a yard locomotive to a railcar receiving station installed at each marine terminal from the inner railway marshalling yard along independent tracks without any interference on any railcar by another.	Cargo railcars are hauled by a yard locomotive to a railcar receiving station installed at each marine terminal from the inner railway marshalling yard along independent tracks without any interference on any railcar by another.	Railcars must access a railcar receiving station by means of complicated to-and-fro hauling along common tracks with the risk of interference from another. This alternative has a disadvantage over the other alternatives.	Cargo railcars are hauled by a yard locomotive to a railcar receiving station installed at each marine terminal from the inner railway marshalling yard along independent tracks without any interference on any railcar by another.

Continued Table S1

x_2	Vehicles can access marine terminals along the planned port road with no level crossing with the railway tracks. A flyover road bridge has been planned.	Vehicles can access marine terminals along the planned port road with no level crossing with the railway tracks. A flyover road bridge has been planned.	Vehicles must access the marine terminals after repetitive level crossings with railway tracks. This alternative has a disadvantage over the other alternatives.	Vehicles can access the marine terminals along the planned port road with no level crossing with the railway tracks. A flyover road bridge has been planned.
x_3	This alternative adds to the port's attractiveness by readying lands for a port-related Export Processing Zone or Distribution Centre (logistic centre) for potential investors.	This alternative adds to the port's attractiveness by readying lands for a port-related Export Processing Zone or Distribution Centre (logistic centre) for potential investors.	Land lots for port-related industries are comparatively narrow. This alternative has a disadvantage over the other alternatives.	Land lots for port-related industries are comparatively narrow due to the readying of lands for a port-related Export Processing Zone or Distribution Centre (logistic centre) for potential investors.
x_4	This alternative has been planned to minimize the segregation of lands by railway tracks.	This alternative has been planned to minimize the segregation of lands by railway tracks.	Railway tracks divide up the port area, resulting in many segregated lands, which the tracks enclose. This alternative has a disadvantage over the other alternatives.	This alternative has been planned to minimize the segregation of lands by railway tracks.
x_5	The existing sand beach at Melnragé I has been planned to be kept intact by leaving a waterway between the offshore reclaimed land and the natural beach, where the view from the beach changes at a distance from the sea to the off-shore reclaimed land. The plan is for 100 m distances between the existing beach and the Outer Port to be developed by reclamation.	The plan is for reclamation of a 700 m long portion of the beach. The remaining beach is to remain intact with an unchanged view at a distance.	This alternative has a disadvantage over the other alternatives due to the plan for reclaiming the 1.500 m long beach.	The existing sand beach at Melnragé I has been planned to be kept intact by leaving a waterway between the offshore reclaimed land and the natural beach at a distance of 350 m. This alternative is considered to have the least impact on the existing beach, compared to the other alternatives.
x_6	A new railway access line has been planned to connect the new port with the railway marshalling yard outside the port from the north. This alternative has the access line from the south.	A new railway access line has been planned to connect the new port with the railway marshalling yard outside the port from the north. Since this alternative has no railway access line from the south, it has a	A new railway access line has been planned to connect the new port with the railway marshalling yard outside the port from the north. This alternative has an access line from the south.	A new railway access line has been planned to connect the new port with the railway marshalling yard outside the port from the south.

Continued Table S1

		disadvantage over the other alternatives due to a possible negative impact on the existing residential area.		
x_7	1080 million Euro	1030 million Euro	1055 million Euro	1011 million Euro
x_8	It is considered easy to expand to the north by dismantling the north breakwater.	This alternative has a disadvantage over the other alternatives due to possibly being hampered by the planned north seawall.	It is considered easy to expand to the north by dismantling the north breakwater.	It is considered easy to expand to the north by dismantling the north breakwater.
x_9	This alternative gives calling vessels safe and swift access to the planned port by two ways and a straight sea channel. Additionally the stretch inside the port is protected from wave penetrations by breakwaters.	This alternative gives calling vessels safe and swift access to the planned port by two ways and a straight sea channel. Additionally the stretch inside the port is protected from wave penetrations by breakwaters.	This alternative gives calling vessels safe and swift access to the planned port by two ways and a straight sea channel. Additionally the stretch inside the port is protected from wave penetrations by breakwaters.	This alternative gives calling vessels safe and swift access to the planned port by two ways and a straight sea channel. Additionally the stretch inside the port is protected from wave penetrations by breakwaters.
x_{10}	This alternative adds competitiveness to the port over neighbouring Baltic seaports by preparing deep-water berths for receiving Baltmax-type vessels.	This alternative adds competitiveness to the port over neighbouring Baltic seaports by preparing deep-water berths for receiving Baltmax-type vessels.	This alternative adds competitiveness to the port over neighbouring Baltic seaports by preparing deep-water berths for receiving Baltmax-type vessels.	This alternative adds competitiveness to the port over neighbouring Baltic seaports by preparing deep-water berths for receiving Baltmax-type vessels.
x_{11}	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.
x_{12}	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.	This alternative provides sufficient storage areas essential for efficient terminal operations.

According to the order of optimality criterion values, alternatives should be ranked as follow: $A_4 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_3$.

The second problem addresses the issue of national importance, i.e. selecting the site for the liquefied natural gas terminal. The site selection is assessed from the point of view of sustainable development, assessing social, environmental, economic and technical criteria.

Following the report drafted by the interinstitutional working group, three main sites for construction of the LNG terminal are investigated: Kiaulės Nugara (A_1) alternative, Melnaragė (A_2) alternative and Būtingė (A_3) alternative.

In order to successfully apply multi-criteria assessment methods, it is important to define a certain number of criteria that would help to arrive to an exhaustive understanding of alternatives. Subsequent to analysis of all alternatives and following the report produced by experts, the system for the assessment of alternatives with fifteen different criteria was developed. Eleven criteria were expressed in points on the scale 1 to 10. The remaining ones were expressed in numeric values (e.g. construction costs, duration, etc.). The general data matrix (Table S2) was created to reflect numeric values of criteria and weight of criteria.

Table S2. Criteria and Alternative Values

		Criteria	Units	Alternatives			Weight	
				I	II	III	In group	Total
		Social					0.15	
S1	max	International relations	points	6	10	3	0.40	0.060
S2	max	Civil safety	points	7	9	10	0.35	0.053
S3	max	Psycho-emotional background	points	3	5	10	0.25	0.038
		Environmental					0.30	
A1	max	Landscape	points	7	7	10	0.35	0.105
A2	max	Cultural heritage	points	10	7	7	0.25	0.075
A3	max	Biological diversity	points	10	8	9	0.25	0.075
A4	max	Environmental air	points	9	10	10	0.10	0.030
A5	max	Noise	points	9	10	10	0.05	0.015
		Economic					0.35	
E1	max	Influence on Klaipėda Seaport expansion	points	9	7	10	0.20	0.070
E2	max	Land use	points	10	7	8	0.15	0.053
E3	min	Construction costs	10 ⁶ €	87	250	250	0.40	0.140
E4	min	Operating costs	10 ⁶ €	15	19.5	21	0.25	0.088
		Technical					0.20	
T1	max	Safety of gas supply	points	10	6	6	0.35	0.07
T2	min	Duration of construction	months	18	30	31	0.45	0.09
T3	min	Interruption of LNG terminal activities	days	25	45	45	0.20	0.04

In order to ensure the most objective assessment of alternative sites for the LNG terminal, three different multi-criteria assessment methods – SAW, TOPSIS and COPRAS – were used (the sequence of calculations is provided in Annex D).

To generalise findings received with the help of different multi-criteria assessment methods, arithmetic means of ranks are estimated (Table S3). It was defined that the best alternative for the LNG terminal is to be established on Kiaulės Nugara island.

Table S3. Ranking of alternatives

Gas Terminal Location	SAW		COPRAS		TOPSIS		Sum of Ranks	Average Rank
	S_i	Rank	K_i^+	Rank	C_i^+	Rank		
Kiaulės nugara	0.891	1	0.949	1	0.626	1	3	1
Melnarage	0.678	3	0.587	3	0.374	2	8	2.67
Butinge	0.718	2	0.593	2	0.318	3	7	2.33

The third problem focused on assessment of wind turbines that were suggested for the section of Lithuanian coast of the Baltic Sea. As only five locations are available for wind turbines, the most suitable wind turbine is determined for each site.

The discussion focused on four offshore wind farm development alternatives to be situated along the Lithuanian coast of the Baltic Sea:

- Alternative A_1 – wind turbine Nordex N80 2.5 MW (Clean technology 2010);
- Alternative A_2 – wind turbine Vestas V90 3.0 MW (Vestas 2013);
- Alternative A_3 – wind turbine GE Energy 3.6 MW (GE Energy 2008);
- Alternative A_4 – wind turbine REpower 5M 5.0 MW (Wind energy solutions 2013).

Five criteria are provided for appropriate assessment of wind turbines: x_1 – nominal power of the turbine (MW); x_2 – max power in the area (MW); x_3 – amount of energy per annum (MWh); x_4 – investments (€); x_5 – CO₂ (t).

There are five possible sites for construction of offshore wind turbines in the Baltic Sea along the Lithuanian coast. The most suitable wind turbine will be selected for each site, on the basis of criteria listed above.

According to reports regarding construction of the offshore wind farm, basic computing data matrices were created.

Once primary decision-making matrices are created, calculations are made using the WASPAS method.

Subsequent to calculations based on the WASPAS method, the received results are ranked. The ranking is provided in Table S4.

Table S4. Ranking of wind turbines

Area	Priorities	Alternatives			
		A_1	A_2	A_3	A_4
L_1	Q_i	0.846	0.873	0.882	0.932
	Rank	4	3	2	1
L_2	Q_i	0.831	0.860	0.879	0.942
	Rank	4	3	2	1
L_3	Q_i	0.828	0.856	0.868	0.930
	Rank	4	3	2	1
L_4	Q_i	0.820	0.853	0.900	0.936
	Rank	4	3	2	1
L_5	Q_i	0.825	0.854	0.874	0.939
	Rank	4	3	2	1

Evaluation of wind turbines on the basis of the WASPAS method results in equal value ranks of priorities: $A_4 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_1$.

The fourth problem is committed to identification of the sequence for construction of offshore wind farms along the coast of Lithuania. According to previous researches, only five possible wind farms were identified and this problem is formulated to determine the economic utility of the sequence for construction of these farms.

Currently, Lithuania has no offshore wind farms. In 2008, subsequent to implementation of the international project Development Prospects of Offshore Wind Energy in Marine Areas of Lithuania, Poland and Russia (POWER), potential marine area was de-

terminated for construction of offshore wind farms in the marine territory of Lithuania and the exclusive economic zone (Lietuvos respublikos energetikos ministerija 2010).

It was determined that five wind farms could be established in waters of the Republic of Lithuania. The main task of the problem is to determine the sequence for construction of wind farms with the total capacity of approx. 1065 MW.

In order to successfully assess the sequence for construction of wind farms in waters of the Republic of Lithuania, key criteria were selected for the multi-criteria analysis: x_1 – area (km²), x_2 – depth of water (m), x_3 – distance from the coast (km), x_4 – average speed of wind (m/s), x_5 – max power on site (MW), x_6 – amount of energy per annum (MWh), x_7 – investments (€), x_8 – CO₂ (t). The key data is provided in Table S5.

Table S5. Initial decision – making matrix

Optimal	Criteria	Alternatives					w_i
		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	
max	x_1	18	33	17	48	121	0.098
min	x_2	38	32	37	26	32	0.103
min	x_3	52	20	16.5	11.8	31	0.074
max	x_4	9.50	8.41	8.90	8.1	9.60	0.088
max	x_5	80	150	75	215	545	0.118
max	x_6	327.7	519.3	282.5	703.8	2262.2	0.211
min	x_7	290.4	348.5	192.6	457.3	1160.3	0.246
min	x_8	205.1	325.1	176.8	440.6	1416.1	0.062

The assessment is performed using the permutation method (ordering feasible alternatives of solutions in terms of preferability). Five target locations are determined for construction of offshore wind farms in the Baltic Sea along the coast of Lithuania: L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 . This suggests 120 permutation alternatives: $5! = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120$. The calculation process is provided in Table S6. Full calculation is available in Annex F.

Table S6. Summary of permutation calculation results

Permutation	Concordance	Non-concordance	β_g rank
$\pi_1 = L_1 > L_2 > L_3 > L_4 > L_5$	4.186	5.711	-1.525
$\pi_2 = L_1 > L_2 > L_3 > L_5 > L_4$	4.216	5.681	-1.465
...			
$\pi_{117} = L_5 > L_4 > L_2 > L_1 > L_3$	5.801	4.096	1.705
...			
$\pi_{119} = L_5 > L_4 > L_3 > L_1 > L_2$	5.503	4.394	1.109
$\pi_{120} = L_5 > L_4 > L_3 > L_2 > L_1$	5.711	4.186	1.525

Subsequent to execution of all 120 permutation alternatives, it was determined that the best one is number 117, i.e. $L_5 > L_4 > L_2 > L_1 > L_3$; therefore, it may be stated that construction of offshore wind farms in the Baltic Sea along the coast of Lithuania has the following sequence: $L_4 > L_5 > L_2 > L_3 > L_1$.

Construction of all possible offshore wind farms over a number of years would not only ensure delivery of obligations toward the European Union but also contribute to energy independence of Lithuania.

The fifth problem assesses foundations for wind turbines to be erected in all five offshore wind farms constructed in the Balti Sea along the coast of Lithuania. As

technical parameters of wind farms are similar, one type of foundations is determined for all five wind farms. Foundations – the most important component in the construction of offshore wind farms. Subsequent to analysis of various scientific researches and assessment of types of foundations suitable for the Baltic Sea along the coast of Lithuania, it was determined that the most suitable example for assessment of foundations for wind turbines would be provided in the annex entitled Comparison of available foundation systems of the article authored by Singh *et al.* (2010). With the help of data provided by Kolios *et al.* (2010), the general system for assessment of foundations was designed. It helped to calculate and identify the most suitable foundations that could be constructed in the Baltic Sea along the coast of Lithuania.

Comparison calculations will assess 14 criteria. Eight of them are verbal criteria, five will be assessed in points and one – in specific numbers.

Six types of foundations are assessed: A_1 – gravity-based foundations, A_2 – pile foundations, A_3 – suction caissons, A_4 – tri-pile foundations, A_5 – floating platforms, A_6 – jacket-type foundations.

Criteria used to describe types of foundations: x_1 – mounting; x_2 – production; x_3 – transportation; x_4 – undermining of foundations; x_5 – dependence on qualities of soil; x_6 – own weight; x_7 – de-mounting; x_8 – design; x_9 – possible depth of mounting; x_{10} – stability; x_{11} – durability; x_{12} – maintenance costs; x_{13} – environmental factors; x_{14} – expected costs.

Available alternatives and criteria are used to create a decision-making matrix. The matrix is created with the help of fuzzy logic graphs and tables of linguistic variables. The further assessment of the matrix is performed using the Fuzzy MOORA method. The results are ranked in order of priority and provided in Table 8.

Table S8. Ranking of alternatives

Alternative	S ⁺			S ⁻			S	Rank
	a	b	c	a	b	c		
A_1	0.086	0.116	0.134	0.104	0.129	0.148	0.015	6
A_2	0.105	0.135	0.161	0.045	0.069	0.094	0.065	2
A_3	0.098	0.128	0.158	0.045	0.069	0.094	0.059	3
A_4	0.115	0.146	0.169	0.071	0.095	0.120	0.048	4
A_5	0.093	0.123	0.151	0.056	0.080	0.101	0.043	5
A_6	0.136	0.167	0.184	0.056	0.081	0.105	0.082	1

Subsequent to calculations performed on the basis of available data, it was determined that jacket-type foundations are the most suitable alternative. Pile foundations would also be appropriate. However, the worst choice would be the gravity-based foundations, which were not viewed as a possible option. Due to insufficient data and lack of novelty, floating platforms remained in the fifth position. However, as offshore wind farms are gaining popularity and with additional researches and design estimations, such foundations might become the most suitable and popular in the future.

General conclusions

1. The literature analysis showed that problems focusing on assessment of marine structures are mainly based on a limited number of efficiency criteria. This explains the reason behind the selection of less rational alternatives. Aiming to improve reliability of assessment, criteria systems need to be designed for more precise description of formulated aims. In addition, sustainable development of marine structures could be ensured with the help of multi-criteria decision making methods or their combinations.
2. The most rational decision-making necessitates assessment of efficiency criteria that characterise key aims in case of each individual marine structure.
3. The thesis delivered assessments of alternatives for a deep-water port, which revealed that alternatives suggested by the Japanese feasibility study were not rational as the best alternative amounts only to approx. 90 percent of the optimal alternative.
4. The choice of the site in the port area for the LNG terminal (Kiaulės Nugara) was mostly determined by the lowest investments (all infrastructure required for the implementation and operation of the LNG terminal has already been created), the lowest possibility of exploitation disturbances (the lowest impact of weather conditions on operations of the terminal), and the duration of construction (the fastest possibility to technologically implement the LNG terminal).
5. Wind energy is neither constant nor reliable as it depends on the strength and direction of wind. Construction of offshore wind farms allows partial control of energy yield as stronger and more constant winds are particular to marine environment. This allows for mounting of larger turbines and production of more power.
6. Assessment of suggested wind turbine models suggests that it is expedient to build the most powerful wind turbines despite a greater price for construction and exploitation costs as the payback period and the amount of produced power are the most important criteria in assessment of wind turbine models.
7. Aiming for the greatest possible input of wind power into the energy sector, all five possible offshore wind farms need to be established in Lithuania. Their total power would amount to approx. 1065 MW. It is expedient to establish wind farms in the sequence suggested by the thesis: $L4 \succ L5 \succ L2 \succ L3 \succ L1$.
8. Foundations – one of the key elements of offshore wind turbines. The cost of foundations can amount to as much as 30 percent of the total cost for construction of offshore wind farms. Aiming to reduce the price of foundations as much as possible, it is suggested to standardise the production and mounting of foundations. It was proved that currently, jacket-type foundations are the most suitable type for offshore wind farms.

Priedai*

A priedas. AHP metodu nustatyti rodiklių reikšmingumai

B priedas. Giliavandens (avant) uosto tipo parinkimas ARAS-F metodu

C priedas. SGD terminalo statybos vietos nustatymas SAW, TOPSIS ir COPRAS metodais

D priedas. Vėjo jėgainės modelio parinkimas WASPAS metodu

E priedas. Vėjo jėgainių parkų jūroje statybos eiliškumo nustatymas perstatymo metodu

F priedas. Vėjo jėgainių jūroje pamatų tipo parinkimas Fuzzy MOORA metodu

G priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje

H priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos

* Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje

Vygantas BAGOČIUS

KOMPLEKSINIS STATINIŲ JŪROS
APLINKOJE RACIONALUMO PAGRINDIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai
statybos inžinerija (02T)

THE COMPLEX RATIONALITY'S JUSTIFICATION
OF STRUCTURES IN THE SEA ENVIRONMENT

Doctoral Dissertation

Technological Sciences
Civil Engineering (02T)

2014 11 18. 13,25 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Baltijos kopija“
Kareivių G. 13B, 09109 Vilnius